

BHS

II H

191



BHS II H 191

Elektro-technische BIBLIOTHEK.

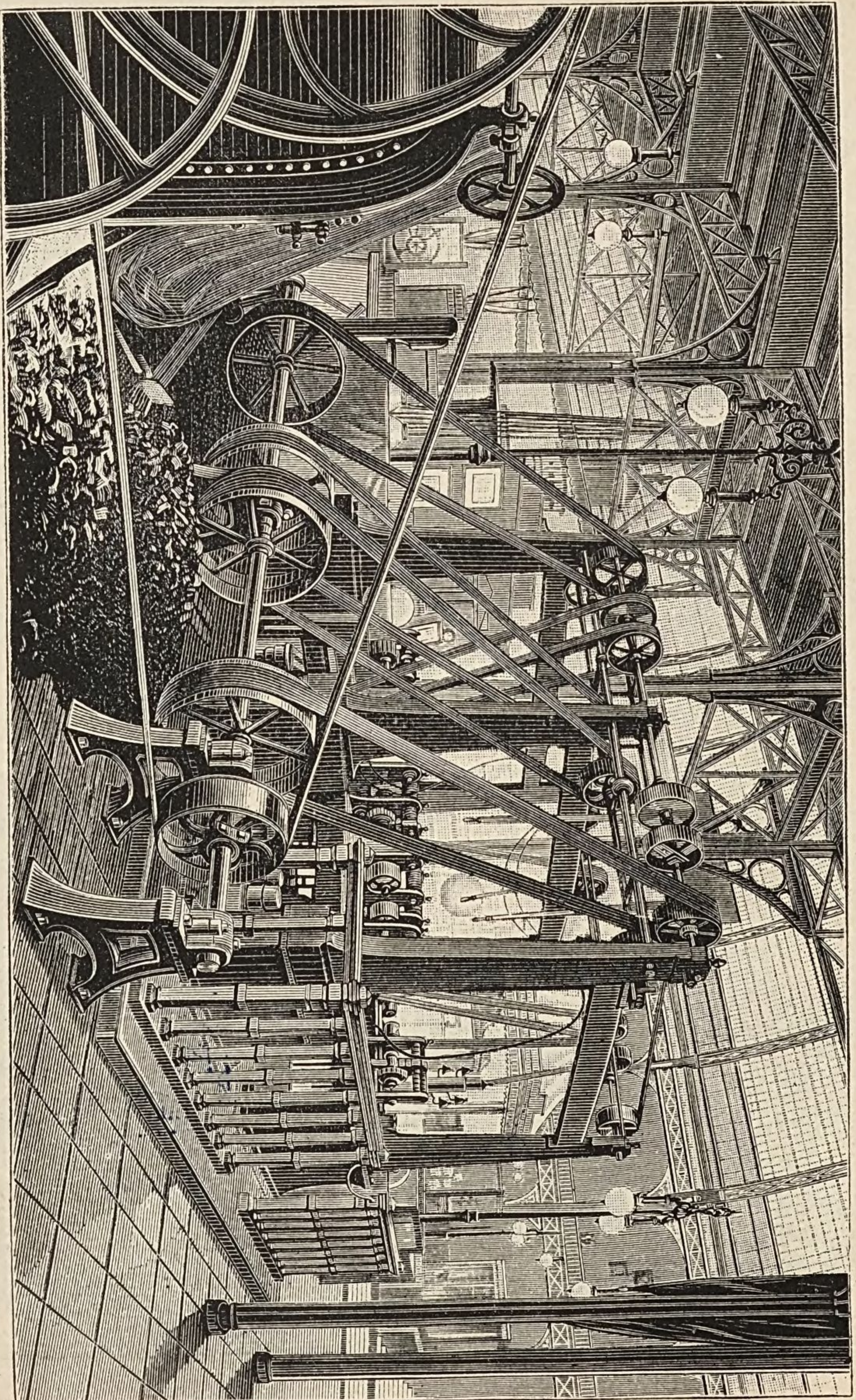
II. BAND.

Die elektrische Kraft-Übertragung und ihre Anwendung in der Praxis.

Dritte Auflage.

A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.





Elektrische Kraftübertragung von Heilmann, Ducommun und Steinlen auf der Elektrizitäts-Ausstellung in Paris.

Die elektrische Kraftübertragung

und ihre

Anwendung in der Praxis.

Dargestellt von

Eduard Japing,

nach dem Tode des Verfassers neu bearbeitet

von

J. Zacharias,

Ingenieur.

Mit 61 Abbildungen.

Dritte Auflage.



WIEN, PEST, LEIPZIG.
A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1891.

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

**Bayerische
Staatsbibliothek
München**

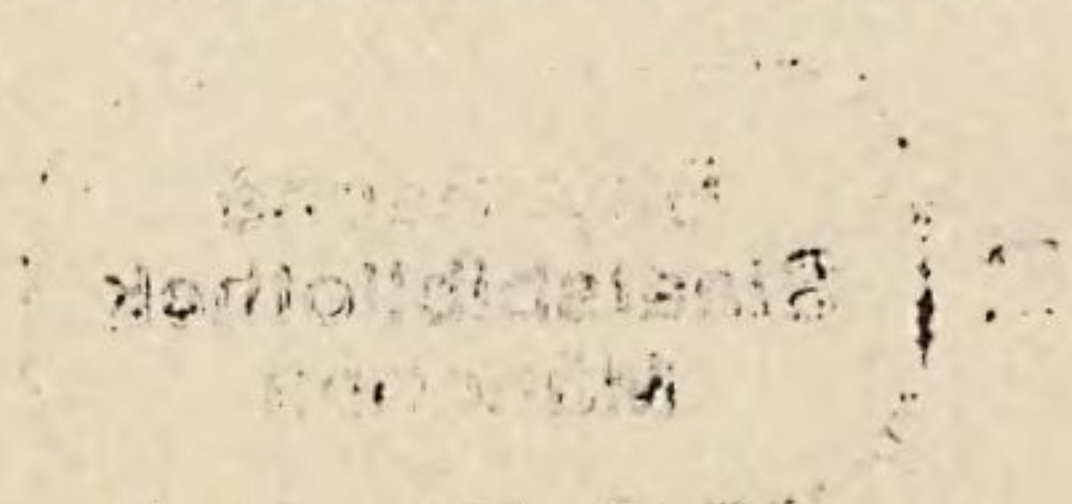
V o r w o r t

zur ersten und zweiten Auflage.

Es liegt ein eigener Reiz in Allem, was mit der Elektrizität und dem Magnetismus zusammenhängt, diesem Geschwisterpaar geheimnissvoller Naturkräfte, über deren innerstes Wesen uns noch so wenig bekannt, dass sie einer anderen, uns verschlossenen Welt, einem Reiche der vierten Dimension anzugehören scheinen.

Wir sitzen am häuslichen Herd, im Kreise der Unseren und lenken unsere Gedanken zurück auf längst vergangene Zeiten, weilen mit schmerzlich süßem Behagen bei der Erinnerung an den einen oder anderen unserer Bekannten und Freunde, der einst unserem Herzen nahe gestanden und nun seit langen Jahren verschollen, vielleicht schon längst nicht mehr unter den Lebenden weilt. Da klopft es, ein Bote erscheint, und wir lesen freudevollen Herzens eine frohe Botschaft, Worte der Liebe, die der halbvergessene Freund vor wenig Minuten fern, fern von uns, in einem anderen Erdtheil geschrieben hat. — Das ist der elektrische Telegraph.

Wir stehen in einer engen Zelle und lauschen gar seltsam verändert klingenden und doch so wohlbekannten Tönen, der Stimme einer gefeierten Sängerin, den Klängen eines grossen Orchesters, wir schwelgen im Genusse einer vollendeten musikalischen Leistung und wissen, dass die Urheber derselben stundenweit



von uns vor einem glänzenden Publicum stehen, ohne Ahnung von dem heimlichen Lauscher, der an ihren Gaben theilnimmt, ohne Entrée bezahlt zu haben. — Das ist das Telephon.

Wir betreten die Ateliers eines grossen Modegeschäftes in einem modernen Babel, in einer der Millionenstädte unseres Welttheils. — Da klappern und schnurren im weiten Saale 20, 30, 40 Nähmaschinen ohne Rast und Ruhe im Dienste der mächtigsten Herrscherin aller Zeiten, im Dienste der Mode. Ein helles, wohlthuendes Licht erfüllt den Raum, lässt alle Farben wärmer und glänzender, alle Körper voller und plastischer erscheinen. Was aber bewegt diese zahllosen Räder und Rädchen? Woher stammt das angenehme und klare Licht in diesen zahlreich auf Candelabern vertheilten oder zu traubenförmigen Gebilden vereinigt von der Decke herabhängenden Wunderlämpchen? Wir sehen weder Riemen noch Räder, weder Kerzen oder Oelvasen noch Gasrohre, wie sie unserer Meinung nach von jedem maschinellen Betriebe, von jeder Lichtquelle untrennbar. Nur ein scheinbar regelloses Netz feiner Drähte hängt, dem Gewebe einer Riesenspinne vergleichbar, in der Luft. Der Führer bemerkt unseren fragenden Blick und spricht: »Das ist die elektrische Kraftübertragung.«

Viele Meilen von hier, im wilden Hochgebirge, fern von den Sitzen der Industrie hat das Kind des ewigen Gletschers, der reissende Waldstrom, einen mächtigen Wasserfall gebildet. Kein Lehrbuch der Geographie wusste um sein Dasein, nur wenigen Waldbewohnern war er bekannt und selten verirrte sich der Fuss eines

kühnen Touristen in diese Einöde. Da kam der rastlose Unternehmungsgeist des Industriellen, überwältigte den freien Sohn des Gebirges, zwang ihn seinen Weg durch lange eiserne Röhren zu nehmen und am Ende derselben mächtige Wasserräder moderner Gestalt, Turbinen genannt, zu betreiben. Die gewonnene Kraft aber wandelte er in jenes geheime Fluidum, in Elektrizität, leitete dasselbe thalabwärts auf langen Drähten zu den Wohnsitzen der Menschen, um es dort in den mannigfaltigsten Formen zur Beleuchtung der Strassen und Häuser und zum Betriebe zahlreicher kleiner und grosser Arbeitsmaschinen zu verwenden. Wahrlich einer der grossartigsten Beweise für die Ueberlegenheit des Menschen über die ganze lebende und leblose Schöpfung.

Wen gelüstete es nicht, Näheres zu erfahren über die Mittel und Wege, deren sich der Menscheng Geist bediente, um solch wunderbare Resultate zu erzielen? Wer möchte sich nicht einen Führer wünschen, der Schritt für Schritt ihm das Verständniss eröffne für die Naturgesetze, mit deren Hilfe dieser neue Fortschritt angebahnt wurde? Nun, einen solchen möchte das vorliegende Werkchen abgeben — soweit die schwachen Kräfte des Verfassers reichen.

So verlockend aber auch das in Aussicht gestellte Ziel ist, so wünschenswerth auch die Erkenntniss des Wirkens der geheimnissvollen Naturkraft jedem Gebildeten erscheinen mag, der Weg dahin ist mühevoll und weit. Manche trockene und langweilige Definition müssen wir uns zu wissen machen, schier endlose Reihen mathematischer Entwicklungen, holperigen und steinigen Gebirgspfade vergleichbar, sind zu überwinden, ehe wir

zu den Endresultaten unser Betrachtungen gelangen. Möge es dem Verfasser gelungen sein, wenigstens Einiges zur Ueberwindung dieser Schwierigkeiten beizutragen, seinen freundlichen Lesern das eine oder andere Hinderniss aus dem Wege zu räumen, so würde er sich für seine Mühe reichlich belohnt finden.

Die Quellen, aus denen der Verfasser dieses Werkes schöpfte, finden sich grösstentheils im Texte selbst angegeben, so dass eine Aufzählung derselben an dieser Stelle wohl unterbleiben kann.

Das eigentliche Fachpublicum aber, die Jünger des erst seit Kurzem an unseren Hochschulen anerkannten Zweiges der Naturwissenschaft, die Elektrotechniker, möchten wir um Nachsicht bitten, wenn an der einen oder anderen Stelle die Kräfte des Verfassers mit den Schwierigkeiten seiner Aufgabe nicht ganz im Einklang standen (ist doch die Sache an sich noch so neu, fehlt es doch noch so vollständig an guten Vorbildern für die Behandlung des schwierigen Themas) — oder wenn es bei der Kürze der zu Gebote stehenden Zeit nicht möglich war, das Werk so ganz aus einem Gusse erscheinend zu gestalten. Mit diesem Wunsche schliesst seine Arbeit

Der Verfasser.

Vorwort

zur dritten Auflage.

Der Verfasser der ersten Auflage, Herr Japing, hat leider am 8. Februar 1891 das Zeitliche gesegnet. Dem Unterzeichneten ist in Folge dessen von der Verlagshandlung der ehrenvolle Auftrag geworden, die neue Auflage entsprechend den Fortschritten der Elektrotechnik neu zu bearbeiten.

Die rapiden Fortschritte der Elektrotechnik machten bei der dritten Auflage dieses Bandes eine völlige Umgestaltung des Inhaltes nothwendig. Als das Buch zu Anfang dieses Jahrzehntes erschien, fing man soeben erst an, den elektrischen Strom für Kraftübertragung anzuwenden. Theorie wie Technik waren noch sehr unvollkommen und der Verbesserung bedürftig. Bei den wenigen Versuchen und Anlagen, welche man damals erst durchgeführt hatte, fehlte es noch an genügender Erfahrung. Heute nach Verlauf weniger Jahre giebt es fast kein Gebiet mehr, auf welchem die Kraft des elektrischen Stromes nicht in Anwendung ist. Besitzen doch alle grossen Städte der civilisirten Welt heute Elektrizitätswerke, welche den elektrischen Strom auf grosse Gebiete vertheilen und zur Erzeugung von Kraft und Licht abgeben. In allen Ländern versucht man für die Zwecke der Strassenbahnen die Pferde durch Elektromotoren zu ersetzen.

Allgemein betrachtet man die Lösung dieses Problems als in den nächsten Jahren bevorstehend. Ganze Mühlen oder Fabriken treibt man mit Elektromotoren, für welche der Strom durch entfernt gelegene Wasserkräfte erzeugt wird. Kurz, es hat sich ein Umschwung in der Technik in wenig Jahren vollzogen, dass man den Neuerungen auf diesem Gebiete kaum zu folgen vermag.

Welchen ungeheuren Fortschritt gerade die elektrische Kraftübertragung in den letzten zehn Jahren gemacht hat, merkt man so recht beim Durchlesen der ersten Auflage dieses Buches. Die erste elektrische Ausstellung fand zu Paris im Jahre 1881 statt, um welche Zeit auch dieses Buch geschrieben wurde. Gerade nach zehn Jahren findet 1891 wieder eine grosse elektrische Ausstellung zu Frankfurt a. M. statt. In München machte im Jahre 1882 Marcel Deprez die ersten grösseren Versuche mit einer Kraftübertragung zwischen München und Miesbach auf ca. 56 Kilometer; die Frankfurter Ausstellung zeigt uns eine solche mit 300 Pferdestärken auf 150 Kilometer, und zwar mit ganz anderen Spannungen als man bisher nur möglich gehalten hat. Der »Oeltransformator« der Maschinenfabrik Oerlikon gestattet nämlich ohne Anstand Spannungen bis zu 30.000 Volt anzuwenden.

Zwischen Rom und Tivoli hat die Fabrik von Ganz & Co. mit dem Zipernowski'schen System eine Uebertragung von 2000 Pferdestärken auf 26 Kilometer eingerichtet. Das sind Thatsachen, von denen man sich vor wenig Jahren noch kaum träumen liess. Deprez begnügte sich noch mit einem Nutzeffecte von

circa 50 Procent, während die Fabrik Oerlikon vor wenig Jahren in Solothurn einen solchen von 75 Procent nachgewiesen hat.

Es kann daher den werthen Leser nicht Wunder nehmen, dass diese neue Auflage mit der älteren wenig Aehnlichkeit hat.

Heute giebt es kaum noch ein Gebiet, auf dem man nicht Nutzen von der Elektricität zöge und ganz besonders gilt dies von der Anwendung der elektrischen Kraftübertragung.

Die neuesten Fortschritte auf diesem Gebiete eröffnen uns die Möglichkeit, ganze grosse Districte mit Kraft von einem Centralpunkte aus zu versorgen. Im Königreiche Sachsen arbeitet man einen Plan aus, von den Zwickauer Kohlengruben aus das ganze Land mit Kraft zu versorgen, so dass die grösste Entfernung etwa 160 Kilometer betragen wird. Die Uebertragung einer grossen Kraft auf beliebig weite Entfernungen wird also nur in den Kosten der Leitungen ihre Grenze finden. Selbst bei 30.000 Volt braucht man z. B. zur Uebertragung von 7000 Pferdestärken immerhin noch etwa 170 Ampère. Eine solche Stromstärke erfordert eine ziemlich starke Leitung, deren Kosten bei, sagen wir, 300 Kilometer sehr beträchtlich wären. Der Gewinn bei dieser Art der Kraftübertragung ist allerdings auch ganz bedeutend; brauchen wir doch dann die Kohle nur aus der Grube nach den nahen Kesseln zu bewegen und sie nicht mehr per Schiff oder Eisenbahn zu transportiren. In Cassel will man ein Elektricitätswerk errichten, bei dem die Dynamos durch Wechselstrom auf grosse Entfernung getrieben

werden sollen. In den zahlreichen Städten, welche heute schon grössere oder kleinere Elektrizitätswerke besitzen, verwendet man für mancherlei Zwecke Elektromotoren zum Betriebe von Arbeitsmaschinen.

Edison eröffnete vor ca. 10 Jahren seine New-Yorker Centralen mit Dampfdynamos von je 1000 Glühlampen, während die Berliner Centralen solche von 10.000 Lampen seit einigen Jahren betreiben.

Kurz, es hat auf dem Gebiete der elektrischen Kraftübertragung ein ungeheurer Fortschritt sich in wenig Jahren Bahn gebrochen, wie ihn die Culturgeschichte bis dato noch nicht zu verzeichnen hatte.

Dem Verfasser ist daher die schwere Aufgabe erwachsen, eines der umfangreichsten Gebiete der Elektrotechnik in dem kleinen Rahmen dieses Buches übersichtlich zusammen zu stellen. Dies möge der freundliche Leser berücksichtigen, wenn diese schwere Aufgabe hier nicht ganz zu aller Zufriedenheit gelöst sein sollte.

Berlin.

J. Zacharias.

Verzeichniss der Abbildungen.

Figur	Seite
1. Dampfdynamo der Berliner Electricitätswerke, Aufriss . . .	34
2. Dampfdynamo der Berliner Electricitätswerke, Grundriss . .	35
3. Dampfdynamo auf Schiffen	38
4. Generator-Dynamo Oerlikon 100 P. S.	52
5. Generator-Dynamo Oerlikon 250 P. S.	53
6. 500 P. S. Dynamo der Berliner Electricitätswerke	55
7. Wechselstrom-Maschine Ganz & Comp.	56
8. Wechselstrom-Maschine G. Kapp	57
9. Schematische Darstellung zur Theorie der Umwandlung des Stromes in Arbeit	67
10. Concentrisches Bleikabel	82
11. Elektrische Canalisirung	83
12. Ausgleichsstücke für Kupferschienen	84
12a. Leitungssystem von F. Zöpke	84
13. Abzweigkasten für Kupferschienen	85
14. Abzweigkasten für Bleikabel	86
15. Oelisolator von Johnson & Philipps	87
16. Mehrfacher Oelisolator	88
17. Querschnitt einer Accumulator-Platte von Reckenzaun . .	95
18. Leitungspreis-Curven für verschiedene Spannungen	103
19—21. Oeltransformator	106, 111
22—23. Transformator Ganz & Comp.	111
23a. Transformator G. Kapp	113
24. Elektromotor Siemens	132
25. Elektromotor mit Ventilator	133

Figur	Seite
26. Elektromotor Schwartzkopf	133
27. Wechselstrommotor Ganz & Comp.	139
28. Automatischer Rheostat	142
29—30. Drehstrommotor	144
31. Elektrischer Aufzug Otis brothers	151
32. Elektrischer Steinbohrer	157
33—34. Diagramme des Energieverbrauches beim Accumulatoren- betrieb	170
35—38. Huber's Kuppelung für Strassenbahnwagen	174
39. Oberirdische Bergwerksbahn	185
40. Elektrischer Göpel, Aufriss	186
41. Elektrischer Göpel, Grundriss	187
42—44. Reckenzaun's Boot	196
45—48. Reckenzaun's Motor	197
49—58. Elektrische Strassenbahn mit senkrechter Spur	212—220
59—61. Oberirdische Stromzuführung	228

Die elektrische

Kraftübertragung

und ihre

Anwendung in der Praxis.



I.

Einleitung.

Von der Kraftübertragung im Allgemeinen und der elektrischen Kraftübertragung insbesondere.

Die Ueberlegenheit des civilisirten Menschen gegenüber den Naturvölkern beruht in erster Linie auf genauer Kenntniss der Naturkräfte und auf der Fähigkeit, dieselben seinen Zwecken dienstbar zu machen. So viel aber auch in dieser Richtung schon erreicht ist, einen so hohen Aufwand von ernstem Studium und praktischem Scharfblick die neueren und besseren Erzeugnisse unserer Maschinenbau- und Ingenieurkunst auch bekunden, Grösseres ist noch zu vollbringen, gerade die wichtigsten und wirkungsreichsten Kräfte sind erst in geringem Masse oder gar nicht nutzbar gemacht worden. Wir erinnern nur an die ungeheuere Menge von Wärme, welche uns von der Sonne Jahr für Jahr gespendet wird und deren Effect man einem Verbrauch von 180 Billionen Tonnen Steinkohlen gleich schätzt, an die riesigen Kraftäusserungen der Sonne und des Mondes auf die Wassermassen der Erdoberfläche, welche sich in

den Gezeiten, dem Phänomen der Ebbe und Fluth an unseren Meeresküsten zeigen. — Wir bezeichnen im Nachfolgenden als »Energie« alle Kundgebungen elementarer Naturkräfte, gleichviel, ob sie sich als Wärme oder Elektrizität, als chemische Verwandtschaft oder mechanische Arbeit zeigen, ob sie als wahrnehmbare oder kinetische Energie auftreten, oder als latente, resp. ruhende, wie z. B. im Schiesspulver und Dynamit.

Es ist gar nicht nöthig, auf die grossartigen Einwirkungen anderer Weltkörper zu verweisen, es liegen andere Beispiele für unsere obige Behauptung viel näher. Welch' ungeheuere Kräfte repräsentirt die Bewegung des Wassers in unseren Gebirgsflüssen und grossen Strömen. Allein am Niagarafall in Nordamerika stürzen stündlich 100 Millionen Tonnen Wasser aus einer Höhe von 150 Fuss herab und entwickeln durchschnittlich 16,800.000 Pferdekkräfte, welche jetzt keinen anderen Effect haben, als die Temperatur des Wassers am Fusse des Falles um den neunten Theil eines Grades zu erhöhen. Die Kohlenproduction der ganzen Erde würde kaum hinreichen, um diese Wassermasse wieder auf die frühere Höhe zu pumpen. — Wenn nun ein einzelner Wasserfall schon einen solch bedeutenden Verlust an Energie repräsentirt, was wird dann auf der ganzen Erde im Durchschnitt verloren gehen? Mit Recht fragt Siemens: »Verträgt es sich wohl mit den Principien der Nutzbarmachung aller Naturkräfte, solche enormen Quantitäten von Energie fast ganz unbenützt zu lassen?«

Die hauptsächlichste Schwierigkeit einer Nutzbarmachung dieser Elementarkräfte liegt darin, dass sie meist, fast ausschliesslich, in gebirgigen öden Gegenden,

fern von Wohnsitzen des Menschen, von den Heimstätten grossartiger industrieller Thätigkeit auftreten, und nur in seltenen Fällen ist es möglich, letztere dorthin zu verlegen, wo billige Betriebskraft zu Gebote steht. Man muss also darnach trachten, die Betriebskraft selbst fortzuleiten oder aber sie an Ort und Stelle in transportabler, leicht wieder nutzbar zu machender Form aufzuspeichern. Ersteres bewirkten unsere Vorfahren, namentlich für Zwecke des Bergbaues und Hüttenbetriebes oft in grossartigem, staunenerregendem Masse durch ihre Wasserleitungsbauten. Wer, um nur ein Beispiel anzuführen, die Oberharzer Wasserwirthschaft kennen gelernt und beobachtet hat, mit welchem Scharfblick man die geeignetsten Stellen für Anlage der vielen Hunderte von Sammelteichen auszuwählen verstanden, wie man von diesen das Aufschlagwasser in meilenlangen Grabentouren den höchst gelegenen Betriebsstätten zugeführt und von dort aus stufenweise in einer langen Reihe thalabwärts bis zur norddeutschen Ebene sich hinziehender und der fortschreitenden Verarbeitung der Erze und Metalle angepasster Betriebsstätten jeden Fuss des Wassergefälles ausgenützt hat, der wird den Erbauern dieser Wasserwerke seine Bewunderung über die genial concipirte und mit äusserster Oekonomie durchgeführte Ausnützung vorhandener Naturkräfte im Dienste der Industrie nicht versagen können.

Ein anderes Beispiel von Aufspeicherung und Ausnützung elementarer Kräfte liefern uns die Holländer mit ihren Windmühlen. Wer die Niederlande bereist hat, wird aus eigener Anschauung wissen, andere

werden aus den zahlreichen Landschaftsbildern der holländischen Malerschulen gesehen haben, dass die Windmühle die immer wiederkehrende, charakteristische Staffage in allen Theilen des Landes bildet. Aber nur ein kleiner Theil derselben wird direct zum Treiben des Mühlsteins oder anderen gewerblichen Arbeiten verwendet, die weitaus grösste Zahl derselben schöpft Wasser aus den vielen, das Festland nach allen Richtungen durchschneidenden Canälen, und dieses wird zum Theil zum Bewässern der Aecker und Wiesen, zum Theil als Aufschlagwasser für Kleingewerbemotoren benützt.

So bewunderungswürdig uns nun aber diese, von unseren Vorfahren ersonnenen Methoden, sich die Naturkräfte dienstbar zu machen, auch erscheinen mögen, seit der Erfindung und allmählichen Verbesserung der Dampfmaschinen erscheinen sie immer mehr bei Seite geschoben oder ganz und gar verdrängt. Noch im Jahre 1866 gab es auf dem ganzen Oberharz keinen eigentlichen Dampfmaschinenbetrieb; hier und da stand im Winkel eine Aushilfsmaschine urältester Construction, welche höchstens ein- oder zweimal per Jahr in Fällen grossen Wassermangels in Betrieb gesetzt, vom echten Oberharzer aber mit unverholener Geringschätzung und vielleicht nicht ganz unverdientem Misstrauen betrachtet wurde. Heute aber dürften dort die Leistungen der Dampfmaschinen denen der Wassermotoren aller Art schon vollkommen gleich, wenn nicht überlegen sein, und an anderen, dem fossilen Brennmaterial leichter zugänglichen Stellen sind die alten Wasserräder mit Sammelteichen und Aufschlaggräben bereits ganz ver-

schwunden. Es ist dies eine ganz natürliche Folge der bequemen Betriebsweise und der geringeren Anschaffungskosten der Dampfmaschinen und des Umstandes, dass durch die verbesserten Transportanstalten Steinkohle um billigen Preis nach allen Punkten der civilisirten Welt geschafft werden kann.

Wenngleich nun auch der im Schooss der Erde aufgespeicherte Vorrath von Steinkohlen sehr bedeutend ist und alljährlich neue Fundorte erschlossen werden, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass derselbe nicht unerschöpflich ist, sondern, wenn auch nicht zu unseren Lebzeiten, so doch, bei unseren täglich wachsenden Bedürfnissen, nach verhältnissmässig kurzer Frist aufgebraucht werden, lange Jahre vorher aber in Folge der allmählichen Abnahme ganz bedeutend im Preise steigen wird. Districte mit hochentwickelter Industrie und demzufolge dichter Bevölkerung werden diesen Uebelstand am ersten empfinden, und es erscheint, ganz abgesehen vom wissenschaftlichen Interesse, auch vom praktischen Standpunkte aus keineswegs müssig, schon bei Zeiten zu überlegen, welche Mittel uns zu Gebote stehen, um, nach dem Verbrauch der in den Steinkohlen aufgespeicherten Energie, uns die von der Natur gebotene kinetische Energie nutzbar zu machen, und ob nicht jetzt schon in manchen Fällen die Anwendung dieser Mittel zweckmässig sein würde.

Die oben berührten Methoden unserer Vorfahren, sich Naturkräfte nutzbar zu machen, lassen sich ihrer Schwerfälligkeit und hohen Kosten halber nur auf geringe Entfernungen anwenden und auch die Verpflanzung von Energie durch andere in der Neuzeit vorgeschlagene

hydraulische Apparate oder durch comprimirte Luft empfiehlt sich aus den gleichen Gründen und der mit der Entfernung rasch wachsenden Kraftverluste halber, nur für besondere Zwecke, z. B. die pneumatische Depeschen-, Brief- und Paquetbeförderung, sowie für Druckluft-Anlagen nach dem System Popp. Dagegen bietet uns der elektrische Strom ein ganz vorzügliches Hilfsmittel, Energie von einem Orte, an dem sie billig oder bequem zu haben ist, auf grössere Entfernung nach einem anderen Orte zu übertragen, wo man sie braucht, und diese Methode, die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, ist es, welche uns in den nachfolgenden Blättern beschäftigen soll.

Als elektrische Kraftübertragung im weitesten Sinne kann man alle jene Fälle bezeichnen, in denen der elektrische Strom dazu dient, irgend eine Form von Energie von einem Orte nach einem andern zu übertragen, um sie dort in ihrer ursprünglichen, oder einer beliebigen anderen Form auftreten zu lassen. Ein Beispiel des ersten Falles ist die Benützung galvanischer Batterien bei der Galvanoplastik; denn hier wird die chemische Energie der galvanischen Elemente in elektrischen Strom verwandelt, pflanzt sich als solcher durch die Leitungsdrähte fort und erscheint alsdann wiederum im galvanoplastischen Bade als chemische Energie; der zweite Fall tritt ein, wenn man die chemische Energie der Batterie durch die Leitungsdrähte als elektrischen Strom sendet und am anderen Ende der Leitung, in elektrischen Lampen z. B., als strahlende Energie wieder erscheinen lässt.

In beiden Fällen haben wir eine Kraftübertragung, jedoch nicht die Kraftübertragung im engeren Sinne, d. h. nicht die Uebertragung von mechanischer Energie. Letztere umfasst nur diejenigen Fälle, in welchen mechanische Energie vermittelt des elektrischen Stromes an einem Orte nutzbar gemacht wird, der von dem Orte, wo sie erzeugt wurde, entfernt ist, und zwar werden wir uns in diesem Bande hauptsächlich mit allen den Mitteln beschäftigen, durch welche die an einem Ende der Leitung erzeugte mechanische Energie am anderen Ende der Leitung wiederum als mechanische Energie auftritt, während solche Fälle, in denen dieselbe in chemische oder strahlende Energie verwandelt wird, nur oberflächlich berücksichtigt werden sollen.

Die einfachste und bekannteste Form der elektrischen Kraftübertragung ist das Telegraphiren mittelst elektrischer Maschinen. Bei dieser Operation wird nämlich die mechanische Energie, welche dazu dient, die Armatur der Maschine vor den inducirenden Magneten rotiren zu lassen, in elektrischen Strom umgewandelt, dieser durchheilt beim Schliessen des Stromkreises die Telegraphendrähte, umfließt alsdann die Elektromagnete des Telegraphen-Apparates und setzt ein Stück Eisen in Bewegung, welches im Morse-Schreibapparat z. B. einen mechanischen Druck auf einen Papierstreifen ausübt und auf diese Weise das telegraphische Zeichen producirt.

Ein ähnlicher Fall von elektrischer Kraftübertragung tritt auf in allen Läutewerken, Eisenbahn-Signalapparaten, elektrischen Auslösungen u. s. w., in denen man die mechanische Energie einer von den-

selben entfernten Maschine dazu benützt, einen Klöppel, einen Hebel, einen Zeiger u. s. w. in Bewegung zu setzen. Da zu diesen und ähnlichen kleinen Umwandlungen des elektrischen Stromes in Energie jedoch auch die chemische Energie einer Batterie und nicht immer die mechanische Energie einer dynamoelektrischen oder magnetelektrischen Maschine benützt wird, so werden dieselben hier ebenfalls nur nebenher berührt und zugleich mit den galvanischen Batterien und ihren Anwendungen in einem anderen Bande der »Elektrotechnischen Bibliothek« beschrieben.

Ein Beispiel elektrischer Kraftübertragung im obigen specificirten engeren Sinne liefern uns die elektrischen Eisenbahnen. Bei diesen wird der elektrische Strom durch eine Dynamomaschine erzeugt, welche von einer Dampfmaschine oder einem Wasserrade umgetrieben ist. Der so erzeugte Strom wird auf später zu beschreibende verschiedene Weise den Elektromotoren, die sich in den zu betreibenden Wagen befinden, zugeführt und setzen durch geeignete Transmissionen die Räder der Wagen in Bewegung.

Auf andere vielfach praktisch ausgeführte Verwendungen elektrischer Kraft, z. B. zur Bewegung von Hebezeugen, Druckerpressen, Farbmühlen, wie sie neuerdings in den verschiedensten Industriezweigen in Gebrauch sind, werden wir in einem späteren Abschnitt dieses Buches zurückkommen und jetzt nur noch einen Blick auf die letzten Ziele der elektrischen Kraftübertragung werfen. Theoretisch liegt nach dem heutigen Standpunkt der Elektrotechnik kein Hinderniss vor — an Orten, wo starke Wasserkräfte bisher un-

benützt vorhanden, dieselben durch geeignete Motoren zu leiten, in windreichen Gegenden Windmühlen in grosser Zahl aufzustellen, in den Centren der Steinkohlenbergbau-Districte Centralstationen mit ganzen Batterien von Dampfkesseln und mächtigen Dampfmaschinen vorzüglichster Construction anzulegen, die Wärmestrahlen der Sonne mit grossen Brenngläsern zu concentriren und zum Heizen von Dampfkesseln, calorischen Maschinen etc. zu benützen u. s. w. — die ganze so gewonnene mechanische Energie durch dynamoelektrische Maschinen von den praktisch bewährtesten Dimensionen und Systemen in elektrische Ströme umzusetzen, diese letzteren entweder direct durch gut isolirte Drähte von entsprechender Stärke zu den Wohnsitzen der Menschen, nach den Mittelpunkten industrieller Thätigkeit fortzuleiten und dort an einer beliebig grossen Anzahl von Stellen zur Verrichtung mechanischer Arbeit, zu Beleuchtungszwecken, zum Eisen- und Metallerhitzen, Schmelzen, zum Kochen und Braten, kurz für alle erdenkbaren Zwecke gewerblicher oder häuslicher Thätigkeit zu benützen — oder aber mit Hilfe von Accumulatoren oder Secundär-Batterien, die kinetische, lebendige Energie der elektrischen Ströme in latente, ruhende Energie umzuwandeln, die dann zu beliebiger Zeit und an beliebigem anderen Orte wieder zu den oben aufgezählten Dienstleistungen verwendet werden kann.

Zweck der nachfolgenden Blätter ist es aber, die uns zur Erreichung obiger Ziele heute zu Gebote stehenden Vorrichtungen zu betrachten, ihre Leistungen und Mängel zu prüfen und die Mittel und Wege auf-

zusuchen, durch welche es uns möglich sein wird, dieselben zu steigern.

Ehe wir jedoch zu unserem eigentlichen Thema übergehen, will ich versuchen, dem werthen Leser zwei Grundfragen zu beantworten:

Was ist Kraft? und

wo entspringt die elektrische Kraft?

Wie oft schon hat man an mich die Frage gerichtet, was ist eigentlich das Wesen eines Dynamo- oder eines Elektromotors, und wie oft hört man von gebildeten Laien die Ansicht, der Strom entstünde durch Reibung! Viele können sich's gar nicht denken, dass hier keine Reibungs-Elektricität im Spiele ist. Ich will es hier (zum ersten Male wohl in der Literatur) versuchen, diese so natürlichen und berechtigten Fragen möglichst kurz und hoffentlich auch verständlich zu beantworten.

Viel und vieles ist schon über die Einheit der Kraft geschrieben worden und viele haben schon versucht, diejenigen Erscheinungen, welche wir elektrische nennen, dieser »Einheit« unterzuordnen, es hat sich jedoch bis jetzt dieses Bestreben keiner allgemeinen Anerkennung zu erfreuen gehabt.

Erst in jüngster Zeit fängt man an, den Arbeiten Maxwells und Anderer mehr Beachtung zu schenken, auch deuten die Versuche des Professors Hertz darauf hin, dass Licht und Elektricität gleicher Bewegungsursache entspringen, nämlich der Bewegung des Aethers.

Jede Kraftäusserung kann nur wirken und unseren Sinnen wahrnehmbar werden, wenn sie ein Mittel,

einen Hebel hat, durch den sie angreifen, zur Wirkung kommen kann. Jede Kraftäusserung hat ihren Ursprung in der Bewegung des Stoffes, der Materie.

Ein Mühlrad wird von einer gewissen Menge Wasser bewegt, wenn das Wasser ein gewisses Gefälle hat, wenn es einen Weg zurücklegen kann. Die Kraft, welche das Wasser äussert, ergibt sich aus seinem Gewicht und der Beschleunigung der Schwere. Das von dem Wasser geleistete Arbeitsquantum »Werk« ist also gleich $\text{Kraft} \times \text{Weg}$. Mit Energie bezeichnen wir eine Kraft, welche in einer gewissen Zeit eine Weglänge wirkt, wir erhalten also z.B. die Energie des Wassers aus $\text{Kraft} \times \text{Weg} : \text{Zeit}$.

Wir können uns auch die Entstehung und Kraftleistung des elektrischen Stromes nicht anders vorstellen, als durch Vermittelung einer fein vertheilten, für unsere Sinne nicht wahrnehmbaren Materie, welche eine gewisse Bewegung von Natur erhalten hat. Dass dies so und nicht anders sein kann, zeigt folgende Ueberlegung. In einer Dynamomaschine entsteht der elektrische Strom dadurch, dass die Maschine durch einen Motor bewegt wird. Also lediglich durch Bewegung erzeugt man Strom. Ferner lässt sich der elektrische Strom auch wieder in Kraft oder Bewegung umsetzen, und zwar, indem ich ihn in eine zweite Dynamo leite und so die bekannte Kraftübertragung erzeuge.

Die Menge dieses bewegten Mediums bildet die Stärke des elektrischen Stromes und der Druck, unter welchem sie sich fortpflanzt, die elektrische

Spannung. Gerade so wie beim Wasser sich aus Masse und Druck die Kraftleistung zusammensetzt.

Von dieser neuen Anschauung hat zuerst Herr W. Fritsche praktischen Gebrauch für die Berechnung von Dynamomaschinen gemacht, indem er folgendes ausführt:*)

»Die Ursache von magnetischen Aussenwirkungen statt auf magnetische Kraftlinien zurückzuführen, in der Geschwindigkeit molecularer Kreisströme zu suchen, giebt uns das Mittel, »das mechanische Aequivalent« (nämlich eine gewisse Geschwindigkeit) des Magnetismus festzustellen und in eine mathematische Formel zu kleiden. Hierin liegt der Schwerpunkt der neuen Auffassung.«

Mit Hilfe der Ampère'schen Theorie giebt Herr Fritsche der Stromstärke den Begriff einer Geschwindigkeit. Nach absolutem Mass sind J . Ampère $= J \cdot 10^{-1}$ und da der Magnetismus im Eisenkern eines Elektromagneten mit den Ampèrewindungen erfahrungsmässig sich ändert, so ist derselbe abhängig von $W \cdot J \cdot 10^{-1}$.

Mit der Zurückführung des elektromagnetischen Stromes auf das absolute Maass ist die »Einheit der Kraft« theoretisch und praktisch ausgedehnt worden — aber erklärt ist das Wesen der letzteren damit leider noch nicht. In welcher Weise Elektrizität und Kraft zusammenhängen will ich versuchen im Nach-

*) Siehe Seite 72. 1889. Julius Springer: Die Gleichstrom-Dynamomaschine, ihre Wirkungskreise und Vorausbestimmung von Waldemar Fritsche.

stehenden auseinander zu setzen. Abgeleitete mechanische Einheiten sind:

$$1. \text{ Geschwindigkeit} = V = \frac{L}{T} = LT^{-1}.$$

$$2. \text{ Moment} = MV = LMT^{-1}.$$

$$3. \text{ Beschleunigung} = A = \frac{V}{T} = VT^{-1} = LT^{-2}.$$

$$4. \text{ Kraft} = F = \frac{MV}{T} = MVT^{-1} = LMT^{-2}.$$

$$5. \text{ Werk} = W = FL = L^2 MT^{-2}.$$

$$L = \text{Länge (Centimeter)} = c.$$

$$M = \text{Masse (Gramm)} = g.$$

$$T = \text{Zeit (Secunde)} = s.$$

Es finden daher folgende Beziehungen statt:

$$\text{Werk} = \text{Kraft} \times \text{Weg}.$$

$$\text{Energie} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Weg}}{\text{Zeit}}.$$

$$\text{Werk} = \text{Energie} \times \text{Zeit}.$$

$$\text{Energie} = \frac{\text{Werk}}{\text{Zeit}} = \text{kurzweg Kraft, Arbeit,}$$

es ist also z. B.

$$\frac{150 \text{ Kgr.}}{2 \text{ sec}} = 2 \text{ HP} \text{ oder } 2 \text{ HP} \times 2 \text{ sec} = 150 \text{ Kgr.}$$

Die Wärme ist eine andere Form von Werk und im Ausdrucke Werk enthalten.

Setzen wir in obige Gleichungen die entsprechenden elektrischen Einheiten ein, so erhalten wir, indem wir bezeichnen:

$$\text{Ampère} = \text{Stromstärke} = J.$$

Volt = Spannung, elektromotorische Kraft = E =
= Druck.

Coulomb = Quantität = Cb .

6. Werk = $E \times Cb$ = Voltcoulomb.

7. $\frac{\text{Coulomb}}{\text{Zeit}} = \text{Ampère}$ also $\frac{Cb}{T} = J$.

8. Coulomb = Ampère $\times$ Zeit also $Cb = J \cdot T$.

9. Werk = $J \cdot E \cdot T$.

10. $\frac{\text{Werk}}{\text{Zeit}} = J \cdot E = \text{Voltampère} = \text{Energie}$.

Es ist daher:

Voltcoulomb = Werk,

Voltampère = Energie,

setzt man die Beschleunigung der Schwere

$$g = 981,$$

so ist

1 Voltampère = 1.0 Voltcoulomb p. Sec,

» = 0.001359 *H. P.*

» = 6.1162 Kgr. p. Min.

» = 0.01444 Kgr. Calorien p. Min.

und ferner

1 Voltcoulomb p. Sec. = 1.0 Voltampère,

1 *H. P.* = 735.75 »

1 Kgr. p. Sec = 9.81 »

1 Kgr. Calorien p. Min. = 69.249 »

Halten wir streng an diesen Definitionen fest, dann kann man sich eher mit der neuen Anschauung befreunden und die elektrischen Erscheinungen mit anderen bekannten physikalischen Erscheinungen ver-

gleichen. Definirt man ferner die Kraft als Druck oder Bewegungsursache und vergegenwärtigt man sich, dass Gewicht und Beschleunigung die gleiche Ursache zur Kraft haben, nämlich die Gravitation, dass Masse eines Körpers gleich ist, dessen Volumen und Dichte vereint gemessen, dann kommt man zu der Erkenntniss, dass die Gravitation und die Elektrizität die gleiche Ursache haben müssen, nämlich den Druck, die »Einheit der Kraft«. Wir fanden zunächst in Gleichung 4

$$\text{Kraft} = F = \frac{MV}{T} = \frac{\text{Masse} \times \text{Geschwindigkeit.}}{\text{Zeit}}$$

Elektrisch gemessen ist:

$$\frac{M}{T} = \frac{Cb}{T} = J$$

nach Gleichung 6 zu setzen und $V = E$, also ist die elektrische Kraft $= J \cdot E = \text{Voltampère} = \text{Energie}$ nach Gleichung 9. Hieraus geht der Zusammenhang zwischen absolutem und elektromagnetischem Mass klar hervor. Herr Fritsche hat also vollkommen ein Recht dazu, die Stärke des elektrischen Stromes als eine Masse von gewisser Geschwindigkeit zu betrachten.

Dass es uns so sehr schwer wird, die elektrischen Erscheinungen zu begreifen und zu verstehen, liegt auch mit an den unglücklichen Benennungen, die uns durch langen Gebrauch zur Gewohnheit geworden sind. Bei Wasserströmen, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen können, sprechen wir nicht von Spannung, sondern allein von Druck, auch meist nicht von Stromstärke, sondern von einer Menge, die in gewisser Zeit fließt. Da kennen wir keine Anziehungskraft, sondern

wir sagen, eine Wassermenge hat so viel Gefälle und übt in Folge dessen eine gewisse Druckkraft aus.

Warum soll denn der Elektromagnet durchaus von dem allgemeinen wahrnehmbaren Druck der Massen eine Ausnahme machen? Folgender Vergleich wird uns der Sache näher führen. Es sei eine dünne Röhre in vielen, engen Windungen kreisförmig zusammengebogen, so dass dazwischen ein cylindrischer Raum entsteht. Nach diesem Raum hin sind eine grosse Zahl feiner Löcher gebohrt. Wird nun die Luft in diesem Schlangenrohr dadurch in Bewegung gesetzt, dass man sie an einem Ende des Rohres schnell fortschafft (auspumpt), dann wird die atmosphärische Luft an beiden Enden des cylindrischen Raumes einen Druck ausüben, weil innen der Druck geringer ist. Wir haben innen Minus- und aussen Plusdruck. Kein vernünftiger Mensch wird behaupten, das Rohr zieht einen Deckel an, den ich darüber halte. Ebenso wenig sagen wir, die Kreiselpumpe zieht das Wasser an, welches der Luftdruck in dem Rohre hebt.

Analog ist der Vorgang bei einer Drahtrolle, in welcher elektrischer Strom fliesst. Fülle ich den hohlen Raum der Rolle mit Eisen aus, so wird die Wirkung stärker, weil sich der Druck an seiner Oberfläche concentrirt, es haftet in Folge dessen an den Enden des Eisenkernes ein Stück Eisen, das man demselben nähert. Die Druckdifferenz zwischen beiden Enden des Drahtes nennen wir Spannung, die Druckdifferenz an den beiden Enden des Eisenkernes Anziehung und die Bewegungsrichtung Polarität.

Unter Elektromagnetismus verstehen wir also Erscheinungen, welche eine natürliche Folge gewisser Bewegungen des elektrischen Stromes sind, geadeso wie Luftdruck und Wasserdruck eine Folge der Bewegung des Wassers und der Luft sind. Der Elektromagnetismus ist also auch eine Bewegung, ebenso wie der elektrische Strom.

Diese letzte Folgerung giebt uns nun den Schlüssel zur Erklärung der elektrischen Kraftübertragung.

Aus der Lehre der Mechanik wissen wir, dass, wenn zwei Kräfte auf einander unter einem Winkel wirken, so setzt sich die Kraft beider in ihrer Resultante fort. Im Elektromotor haben wir auch zwei aufeinander wirkende Kräfte, nämlich den Magnetismus und den Strom in den Windungen der rotirenden Armatur. Nehmen wir einen Elektromotor nach Art eines zweipoligen Gramme-Dynamos so ist die eine Kraft die Bewegung von Pol zu Pol über den Eisenkern der Armatur hinweg, die andere Kraft die Bewegung in den senkrecht dazuliegenden Drähten der Armatur. Da beide Kräfte an gewisse senkrecht zu einander stehende Richtungen gebunden sind, so können sie nicht in ihrer Resultante sich fortpflanzen, sondern sie versetzen die bewegliche Armatur in Rotation.

Viele werden diese Deduction belächeln und sagen, mit der Anziehung ging's doch bisher so schön, aber — klarer und verständlicher geht's, wie ich es hier zum ersten Male auszusprechen wage (nach der Drucktheorie von Aurel Anderssohn, die mich seit zehn Jahren unausgesetzt beschäftigt hat.

Zugestanden, diese Erklärung sei richtig. Wie entsteht denn nun aber der elektrische Strom in der Dynamomaschine pure aus Bewegung? Nach meiner unmassgeblichen Meinung ergiebt sich dies nach Obigem von selbst. Zufolge des remanenten Magnetismus herrscht an den Polen der Elektromagnete eine geringe Druckdifferenz, also nach dem zuvor Gesagten auch eine schwache Bewegung von Pol zu Pol. Damit in den Drähten der Armatur überhaupt ein Strom durch Induction entstehen kann, muss ich sie bewegen; dies geschieht durch Antrieb der Armatur mittelst eines Motors. Wir haben hier wieder zwei Bewegungen von zwangsläufiger Richtung. Die Drähte der Armatur durchschneiden senkrecht die Bewegung von Pol zu Pol, vermöge der ihr mechanisch mitgetheilten Rotation. Die bewegten Drähte durchlaufen an zwei gegenüberliegenden Stellen (den Polen) die Druckdifferenz zwischen den Polen; es muss daher in ihnen auch eine Druckdifferenz, ein Strom, entstehen. Der so erzeugte, anfangs schwache Strom verstärkt in bekannter Weise den Magnetismus der Dynamo; wir erzeugen also zwischen den Polen eine Bewegung, welche proportional ist der Bewegung der Armatur. Die Resultante beider Bewegungen kann sich nur in den rotirenden Drähten fortbewegen. So entsteht der elektrische Strom aus Aether-Bewegung; und was wir mit Induction bezeichnen, ist die Wirkung zweier Bewegungen in der Resultante ihrer Kräfte.

Diese Erklärung aller so räthselhaften und complicirten Vorgänge aus der Bewegung zweier aufeinander wirkenden Kräfte-richtungen ist so einfach und

so naheliegend, und hat doch so lange gebraucht, zu entstehen und sich Bahn zu brechen. Ich bin überzeugt, sie wird Manchem das Verständniss vieler elektrischer Vorgänge erleichtern. Mögen die werthen Leser dieses Buches sie mit Wohlwollen aufnehmen, meine Gedanken weiter verfolgen und so denselben allmählich Geltung verschaffen.

Dadurch, dass ich mir die Anschauung des Herrn Fritsche zu eigen gemacht und sie mit denen von Maxwell, Edlund, Secchi, Anderssohn u. A. combinirt habe, gelange ich ganz zwanglos zur Deduction der für die Elektrotechnik so wichtigen elektrischen Erscheinungen. Mit einem Schlage kommt Licht in den Zusammenhang zwischen Strom, Magnetismus, Induction — Erzeugung des Stromes aus Bewegung, und umgekehrt, Bewegung aus dem Strom. Alle diese Erscheinungen haben dieselbe Ursache der Bewegung, sie ordnen sich ganz selbstverständlich unter der

»Einheit der Kraft«.

Die sonstigen Erscheinungen, z. B. den Stahlmagnetismus hier zu erklären, liegt keine Veranlassung vor, sie werden sich ebenso unschwer ableiten und durch Versuche beweisen lassen, wie dies vom Breslauer physikalischen Verein seit Jahren angestrebt wird. Die Lehrbücher werden dann das Capitel über Elektrizität nicht mehr mit den »elektrischen Grunderscheinungen« anfangen: »Wenn man einen Glasstab mit Kautschuklappen reibt, dann giebt's Funken etc., und das nennen wir Elektrizität,« sondern man wird bald in der Lage

sein, zu beweisen, dass sie gewissen Bewegungen entspringt, wie Alles in der Natur auf Bewegung beruht.

Dass der elektrische Strom ein bewegter Körper ist, lässt sich aus verschiedenen Thatsachen mit Gewissheit schliessen. Gleichung 4 sagt, die Kraft

$$F = \frac{M \cdot V}{T},$$

das heisst, zu jeder Kraftäusserung bedarf es einer Masse, die in gewisser Zeit einen gewissen Weg zurücklegt, das Product $M \cdot V$ nennen wir Moment; wäre im Strom keine Masse vorhanden, also $M = 0$, so wäre eben keine Kraftäusserung möglich, da dann der ganze Ausdruck $= 0$ wird. Jede Kraft bedarf eines Hebels, eines Mittels, mit dem sie angreift; der elektrische Funke, der ein Kartenblatt durchschlägt, hinterlässt ein Loch in demselben, der Blitz spaltete den Baum.

Es kann also die Kraftleistung des elektrischen Stromes auch nicht anders aufgefasst werden, als dass die im Elektromotor rotirende Armatur gewissermassen Stösse erhält, welche sie umdrehen.

Wir wissen, die atmosphärische Luft übt bei normalem Druck von 76 Centimeter Quecksilbersäule auf 1 Quadr.-Centim. 1.0333 Kilogramm oder rund ein Kilogramm Druck aus. Diesen Druck nehmen wir jedoch nur dann wahr, wenn wir die Luft aus einem luftdicht abgeschlossenen Raume entfernen.

Aehnlich muss es sich beim Druck des Weltäthers verhalten. Da der Aether, wie wir oben sahen, materieller Natur ist, so wird er auch die anderen Körper in der Natur verschiedenartig durchdringen. Umwinden wir einen Eisenstab von 1 Quadr.-Centim. Querschnitt mit

isolirtem Kupferdraht, der von starkem Strom durchflossen wird, so erhalten wir den dem Luftdruck auf 1 Quadr.-Centim. entsprechenden Aetherdruck. Ob man auch den elektrischen Strom noch so stark wählt, die Anzahl der Windungen noch so zahlreich macht, der Druck wird nicht grösser, er lässt sich ebensowenig steigern wie der Luftdruck. Nach der alten Anschauung nennen wir diese Erscheinung »magnetische Sättigung.« Schliesst man diesen Normalmagnet in ein enges eisernes Gehäuse ein und giebt ihm einen eisernen Deckel, so habe ich einen Recipienten, an dem ich den Aetherdruck messen kann.

Es ist als nicht nothwendig, wie es noch Herr Fritsche in seinem oben genannten Buche thut, die Ampère'sche Theorie von den magnetischen Kreisströmen für die Berechnung der Dynamos zu Hilfe zu nehmen, sondern ich kann hierfür einfach den Druck setzen, der auch eine Bewegung erzeugt. Warum bei den Elektromagneten vom Luftdruck oder Wasserdruck eine Ausnahme stattfinden soll, ist nicht einzusehen. Wasser oder Luft sind zwar in Bewegung, wenn sie eine Kraft ausüben, aber die wirbelnde Bewegung, welche Ampère den magnetischen Erscheinungen giebt, können wir für diese nicht gelten lassen.

Die elektromotorische Kraft in einer Dynamomaschine ist daher abhängig (abgesehen von der Wicklung) vom Eisenquerschnitt der Elektromagnete (Kraft im Felde) und der Geschwindigkeit der durch die Drucksphäre an ihren Polen vorbeigeführten Drähte der Armatur.

Aus der Mechanik wissen wir, dass $c^2 = 2gh$ ist, worin c die Geschwindigkeit, g die Beschleunigung der Schwere und h eine Druckhöhe bedeutet; wir können also statt des angenommenen Aetherdruckes eine Geschwindigkeit setzen und erhalten dann wie Herr Fritsche die Gleichung $E = 2gh = c^2$.

Für die Grösse der elektromotorischen Kraft, mit welcher ein Strom erzeugt wird, sind daher zwei Geschwindigkeiten massgebend, und zwar die Geschwindigkeit v der Armaturdrähte und die Geschwindigkeit a , mit welcher der Aetherdruck sich fortpflanzt. Also $E = (a + v)^2$, sobald jedoch die Armaturdrähte die Pole der Magnete verlassen, ist $E = (a - v)^2$, daher

$$E_1 - E_2 = (a + v)^2 - (a - v)^2 = 4av.$$

Die elektromotorische Kraft ist also proportional dem Aetherdruck und der Geschwindigkeit der bewegten Leiter. Diese Gleichung $E = 4av$ ist auch richtig, wenn ich sie schreibe $\frac{E}{4a} = v$, das heisst: In einem Elektromotor, welcher von dem Strom mit der elektromotorischen Kraft E getrieben wird, ist die Geschwindigkeit der Armaturdrähte proportional dem Quotienten $\frac{E}{4a}$, und da wir $E = 2gh = c^2$ fanden, kann man auch setzen $= \frac{2gh}{4a}$, also gleich dem Quotienten aus zwei Geschwindigkeiten. Man kann also in analoger Weise die Rechnung für den Elektromotor durchführen, wie es Herr Fritsche für die Dynamos gethan hat, selbst unter Zuhilfenahme der Vielen so

verhassten Aethertheorie. Dieselbe weiter zu verfolgen würde hier zu weit führen. Verfasser wollte nur eine Vorstellung davon geben, wie man sich auf Grund der neueren Anschauungen den Vorgang bei der elektrischen Kraftübertragung vorstellen kann. Wie man praktisch die Berechnungen durchführt, werden wir später sehen. Welche Wichtigkeit man auch im Auslande den Versuchen des Herrn Professors Hertz in Bonn beilegt, erhellt aus dem Umstande, dass die Pariser Akademie der Wissenschaften demselben kürzlich den Preis Lacaze verliehen hat.

Ich mache keineswegs den Anspruch, dass alle meine Ausführungen schon ganz oder vollständig correct sind, sie bilden nur Gedankensplitter zur weiteren Ausbildung der Erklärungen. Es widerstand mir jedoch, angesichts der sich mehrenden Beweise für die Einheit der Kraft noch das alte Märchen von der Anziehung hier aufzutischen, das nur noch in älteren Lehrbüchern zu finden ist.

Die Versuche des Professors Hertz in Bonn, bei denen er nachgewiesen hat, dass Licht und Elektrizität ganz analoges Verhalten zeigen, ferner die Versuche des Herrn Lecher in Wien, welche beweisen, dass Licht und Elektrizität die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben, sind weitere Argumente für meine obigen Behauptungen.

Ich kann es mir an dieser Stelle nicht versagen, Herrn Aurel Anderssohn zu Breslau, dem unermüdlichen »Weltmechaniker«, meinen tiefgefühltesten Dank auszusprechen für die Einführung in seine und Secchi's Forschungen, die mich überhaupt erst befähigten, dem

Ursprunge der elektrischen Kraft nachzuforschen. Dieser greise Forscher wurde nicht müde, mit mir Jahre hindurch oft bis tief in die Nacht Versuche anzustellen, um Material zu sammeln »im grossen Buche der Natur«. Selbst Pater Secchi zu Rom hat ihm einst zugestanden, dass Aurel Anderssohn der Erste war, der zielbewusst es ausgesprochen:

»Alle Kraft ist im Weltall begründet, in der Gravitation von Oben.«

Sehen wir jetzt zu, wie wir diese Kraft im Haushalt der Natur gewinnen und verwerthen können.

II.

Die Erzeugung des Stromes aus Bewegung.

1. Die Motoren zur Bewegung der elektrischen Maschinen.

Ehe wir dazu übergehen, die Vorrichtungen, Maschinen etc. zu betrachten, welche dazu dienen, die elektrischen Maschinen zu drehen und dadurch Strom zu erzeugen, will ich noch einige Bemerkungen allgemeiner Natur voranschicken, die zwar einem Fachmanne oder dem naturwissenschaftlich gebildeten Leser geläufig, jedoch dem Laien sehr willkommen sein werden.

Oft schon haben die Handwerksmeister und Telegraphenbauer, denen genügende elektrotechnische Kenntnisse fehlen, an mich das Verlangen gestellt, ich möchte ihnen eine galvanische Batterie empfehlen, welche geeignet wäre, einen Elektromotor zu treiben, der zur Bewegung eines Velocipeds oder Aufzuges dienen soll.

Man verlangt wohl auch, dass eine galvanische Batterie, von möglichst wenig Elementen, Glühlampen von 12—16 Kerzen speisen soll. Ja noch weiter, Viele erwarten, dass sie mit circa 4 Elementen eine *P. S.*

erzeugen können, bei möglichst geringem Zinkverbrauch. Die ganze Anlage soll möglichst wenig kosten und fast gar keine Betriebsausgaben verursachen. Vorweg gesagt, es sind überhaupt unerfüllbare Bedingungen. Es sind oft Leute, denen man auch das Perpetuum mobile nicht ausreden kann.

Es ist sehr schwer, bei solchem Ansinnen Jemandem in kurzen Worten klar zu machen, dass dies unmögliche oder doch sehr kostspielige Forderungen sind. Ja, es kommt vor, dass solche Leute schliesslich der Meinung werden, sie hätten sich nur nicht an den Rechten gewendet, man hätte ihnen durch Rückfragen nur ihre Idee oder Erfindung ablauschen wollen, oder man verstünde die Sache nur nicht. Möglicherweise bilden sie sich auch ein, die Elektrizität sei eine Naturkraft, die sich aus nichts und durch nichts erzeugen liesse.

Da ist es denn freilich eine oft schwere Aufgabe, Leute mit solchen Ansichten zu belehren, aber es ist keine undankbare Aufgabe. Es ist nothwendig, dass man in dieser Hinsicht aufklärend wirkt, damit nicht unnütz Zeit und Geld mit absolut werthlosen Versuchen vergeudet wird. Ich will mich daher hier zunächst dieser Aufgabe unterziehen, ehe ich zu dem eigentlichen Gegenstande unserer Betrachtung übergehe.

Nach dem Naturgesetze von der Erhaltung der Kraft wissen wir, dass für jede Leistung eine gewisse, und zwar eine der Arbeit entsprechende Kraft aufgewendet werden muss. Jedermann weiss z. B., dass ein Pferd an einem Wagen nur eine gewisse Last fortbewegen kann, und wenn diese Last doppelt so gross

ist, zwei Pferde zu ihrer Fortbewegung nöthig sind. In gleicher Weise verhält es sich auch mit dem elektrischen Strome, ob ich denselben nun auf chemischem oder mechanischem Wege erzeuge, ich muss immer entsprechend der zu leistenden Arbeit gewisse Kraft aufwenden.

Warum ist es nun so kostspielig oder oft unmöglich, diese Kraft, diesen nöthigen Strom, auf galvanischem Wege zu erzeugen?

Unsere bisherigen galvanischen Elemente, besonders diejenigen zur Erzeugung von stärkeren Strömen, haben Elektroden aus Kohle, respective Kupfer und Zink. Letzteres ist verhältnissmässig theuer und wird proportional der erzeugten Stromstärke verbraucht, mithin muss ich meine Kraft im galvanischen Element mit einem zu theuern Stoff, dem Zink unterhalten.

Schön sagt Jemand, es kommt mir in einem gewissen Falle auf die Kosten nicht an, wenn ich nur wenig Elemente zum Betriebe des Elektromotors oder der Glühlampe verwenden kann, da der Raum sehr beschränkt ist. Auch diese Bedingung ist meist unerfüllbar.

Die galvanischen Elemente haben alle, ohne Ausnahme, eine sehr geringe Spannung, die sich zwischen 0.8 bis 1.5 Volt. meistens hält. Die Leistung eines elektrischen Stromes hängt nun aber nicht allein von der Menge, der Stromstärke (Ampère), sondern auch vom Druck, der Spannung (Volt) ab, wie wir in der Einleitung des I. Theiles gesehen haben, seine Arbeit ist also ein Product aus Menge mal Druck (Voltampère)

multiplicirt mit der Zeit, während welcher er wirkt (Voltampèrestunden).

Wir haben weiter oben ferner gesehen, dass 735 Voltampère einer P. S. (75 Kilogrm.) entsprechen. In Folge dessen ist man im Stande, für jede zu leistende Arbeit, deren Kraftbedarf durch Erfahrung bekannt ist, die aufzuwendende elektrische Energie im Voraus nach Voltampère zu berechnen.

Will man z. B. eine P. S. erzeugen und hierzu 50 Elemente von je 1·0 Volt Spannung anwenden, so muss man $\frac{735}{50} = 14\cdot7$ Ampère Strom erzeugen. Dies ist aber für unsere gewöhnlichen galvanischen Elemente eine sehr hohe Stromstärke. Hierzu müsste man Platten von grossen Dimensionen anwenden, man würde viel Zink und viel Säure verbrauchen, Anschaffung und Unterhaltung wären sehr kostspielig.

Mithin müssen wir, so lange unsere galvanischen Elemente zu theuer sind, nach einer billigeren Kraft suchen. Man hat zwar schon versucht, das theure Zink durch das sehr viel billigere Eisen zu ersetzen, doch bis jetzt ohne wesentlichen Erfolg. Es ist nicht ausgeschlossen, dass unsere Elektrochemie in den nächsten Jahren in dieser Beziehung einige Fortschritte macht.

Die Erfindung des »Elektrolins« durch Herrn F. Marx hat uns ganz neue Wege eröffnet und ganz unbekannte Thatsachen zu Tage gefördert, von denen ich nur eine hier nebenbei bemerken will. In allen Lehrbüchern, die natürlich das Capitel von der Elektrolyse mit dem schönen Wörtchen »wenn« anfangen, findet man die bisher als richtig »geglaubte« Behauptung,

dass der elektrische Strom flüssige Körper zersetzt, die Bestandtheile an den beiden Elektroden ansammelt, und dass z. B. Metallsalze an der negativen Elektrode einen Metallniederschlag bilden. Herr Marx hat jedoch unwiderleglich nachgewiesen, dass der elektrische Strom, je nach Umständen, drei ganz verschiedene Wirkungen hervorbringt; er wirkt nämlich auf die verschiedensten Metallsalzlösungen ein, indem er entweder einen Metallniederschlag bildet, oder das Salz höher oxydirt, ohne dass es seine chemischen und elektrischen Eigenschaften ändert, oder bildet eben Elektrolin, das heisst, er oxydirt die Salzlösung höher, führt sie in Superoxyd über, welches gleichzeitig die Eigenschaft hat, elektrischen Strom abzugeben und sich wieder zu desoxydiren. Ich muss es mir versagen, auf diese interessanten neuen Forschungen und Erfindungen hier näher einzugehen. Der geehrte Leser wird zwar hierüber in anderen Werken wohl kaum schon etwas finden, ich muss mich jedoch nun endlich unserem Thema selbst zuwenden.

Billiger als das Zink durch Säure zu verbrennen, ist es, die Steinkohle zur Erzeugung von Dampf zu benützen und mit demselben Dampfmaschinen zu bewegen, welche die elektrischen Maschinen umtreiben.

Doch auch dieser Weg, wenn er auch heute am meisten eingeschlagen wird, ist noch nicht der vortheilhafteste, Wind- und Wasserkraft werden oft noch billiger gewonnen. Gelingt es uns jedoch in nächster Zukunft, auf thermoelektrischem Wege aus der Wärme der Kohle direct Strom zu erzeugen, mit Vermeidung von Kessel und Dampfmaschine, so wird die

elektrische Triebkraft, auch da, wo Wasser nicht zum Betriebe vorhanden ist, sich sehr billig erzeugen lassen.

Im Allgemeinen hört man oft die Ansicht, dass die Erzeugung des elektrischen Stromes durch die in der Natur vorhandenen Wasserkräfte sehr billig sei. Dies ist jedoch in gewisser Beziehung ein Irrthum. Das Wasser an sich kostet zwar nichts, aber die Vorrichtungen, es anzusammeln und durch Leitungen oder Canäle den Wasserrädern oder Turbinen zuzuführen, sind meistens sehr theuer. Die wenigsten Wasserläufe sind so constant in ihrer Menge das Jahr hindurch, dass man sich auf diese Kraft ganz allein verlassen könnte; Eisbildung oder Trockenheit haben hierauf grossen Einfluss, so dass man oft noch Dampfmaschinen zur Reserve aufstellen muss.

Nur dann ist Wasser eine sehr billige Kraft, wenn wenig Bauten zum Einfassen seines Laufes und zur Erzeugung des nöthigen Gefälles erforderlich sind, oder wenn eine schon vorhandene Anlage benützt werden kann.

Mehrfach hat man auch Versuche gemacht, den Wind als Triebkraft zu benützen, bislang jedoch ohne allen Erfolg. Erst neuerdings hat Charles Brush in Cleveland O. sein Haus auf diese Weise mit elektrischem Lichte versehen. Die Anlage functionirt automatisch und ganz vorzüglich, ist aber nichts weniger als billig. Es sind nämlich sehr kostspielige Vorrichtungen nöthig, um die Nachtheile aufzuheben, welche die sehr wechselnde Kraft des Windes naturgemäss mit sich bringt.

Es sind ferner alle Motoren, die mit Gas, Benzin, Petroleum oder heisser Luft getrieben werden, zur Bewegung der elektrischen Maschinen geeignet, vorausgesetzt, dass sie eine sehr gleichmässige Bewegung erzeugen. Wer sich über diese Motoren genauer informiren will, findet eine hübsche Zusammenstellung in dem Buche von Th. Schwartze,^{*)} sowie in der zahlreichen Literatur über Gas- und Dampfmaschinen.

Wie wir schon in der Einleitung sahen, zerfällt die uns zu Gebote stehende »Energie«, Wirkungsfähigkeit der Naturkräfte, in latente, ruhende oder potentielle Energie, Energie der Lage, und in kinetische, thätige oder actuelle Energie, Energie der Bewegung. Von ersterer Gattung ist für unsere Zwecke eigentlich nur die in den Brennmaterialien, insbesondere den Steinkohlen aufgespeicherte Energie der Wärme von Bedeutung, indem wir mit ihrer Hilfe Dampfmaschinen, Gasmaschinen, Heissluftmaschinen etc. in Bewegung setzen. Theoretisch kann 1 Kg. Steinkohle mit dem durchschnittlichen Gehalt an Feuchtigkeit, Asche und absorbirter Kohlensäure bei vollkommener Verbrennung 12.000 Wärmeeinheiten entwickeln, und eine Wärmeeinheit entspricht 424 Kg.-Mtr. mechanischer Arbeit; in Wirklichkeit aber erzielen wir mit unseren besten Dampfkesselsystemen und vollkommensten Dampfmaschinen nur etwa den neunten Theil dieser letzteren. Die anderen acht Neuntel gehen theils durch die unvollständige Verbrennung des Heizmaterials der Dampf-

^{*)} Die Motoren der elektrischen Maschinen mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwartze. A. Hartleben, Wien.

kessel, durch das Entweichen heisser Verbrennungsproducte im Schornstein, durch die unvollkommene Ausnützung der Dampfkraft in unseren Maschinen, Reibungswiderstände der Bewegungsmechanismen etc. verloren. Aehnliche Verluste ergeben sich beim Betriebe der Gasmotoren und Heissluftmaschinen.

Von den verschiedenen heute in Gebrauch stehenden Dampfkesselsystemen werden die einfachen Cylinder- oder Walzenkessel selten für directe Dampferzeugung benützt, weil das zu erhitzende Wassermanquantum im Verhältniss zur Heizfläche sehr bedeutend ist. Besser eignen sich Siederohr- oder Bouilleur- und Flammrohrkessel für rasche und massenhafte Dampferzeugung. Noch vorzüglichere Resultate erzielt man mit Innenfeuerungskesseln, insbesondere Cornwallkesseln und einzelnen neueren combinirten Dampfkesselsystemen; doch erfordern die letzteren sehr reines Speisewasser, und wo dies nicht vorhanden, stellen sich sehr bald kostspielige Reparaturen ein. Von den verbesserten Feuerungssystemen hat sich namentlich die Ten-Brinckfeuerung als leistungsfähig und ökonomisch bewährt. — Was die in der Dampfmaschine benützte Spannung betrifft, so hat es sich als vortheilhaft herausgestellt, einen möglichst hohen Dampfdruck mit starker Expansion in Anwendung zu bringen, weil die Umwandlung des Wassers in Dampf die bei weitem grösste Wärmemenge, die Drucksteigerung aber verhältnissmässig nur wenig Wärmezuschuss erfordert. Sehr starkem Druck gegenüber sind aber die Kolben der Dampfmaschine nur schwer und auf die Dauer gar nicht abzudichten und dadurch entsteht natürlich

Dampfverlust; letzterer wird am besten vermindert durch Anwendung von Woolf'schen oder Compoundmaschinen, weil bei diesen der im Hochdruck-Cylinder durchblasende Dampf doch noch im Niederdruck-Cylinder ausgenützt wird. Ausserdem kann man in diesen Maschinen die Expansion im höchsten Masse zur Ausnützung bringen, ohne einen unruhigen Gang befürchten zu müssen, wie derselbe bei eincylindrigen Expansionsmaschinen wegen der starken Druckdifferenz leicht eintritt. Aus diesen Gründen dürften diese Dampfmaschinen auch für die Zwecke elektrischer Kraftübertragung am meisten zu empfehlen sein.

Der Dampfmaschinenbau hat in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht. Während man in Amerika auch heute noch an dem System kleinerer zahlreicher Maschinen festhält, welche jede zwei Dynamos treiben, wendet man speciell in Deutschland jetzt möglichst grosse Maschinen an, und zwar aus folgenden Gründen:

Die grossen Maschinen, und mit ihnen die grossen Dynamos, machen weniger Umgänge per Minute, etwa 75—90, sie haben in Folge dessen ruhigen Gang und belästigen nicht die Nachbarschaft durch Geräusch. Dieselben Leute, welche eine Anzahl kleinerer Maschinen bedienen, die etwa 200 P. S. jede leisten, sind auch im Stande, Maschinen von 1000 P. S. zu warten und das Schmiermaterial wird auf wenige grosse Gefässe vertheilt, so dass dessen Verschwendung leichter verhindert werden kann. Maschinen von geringer Geschwindigkeit nützen sich nicht so schnell ab und sind Störungen nicht so leicht ausgesetzt, da ein Warmlaufen der Lager nicht so leicht vorkommt. Besonders

die Berliner Centralen sind neuerdings mit so grossen Maschinen ausgerüstet worden. Es sind stehende Ma-

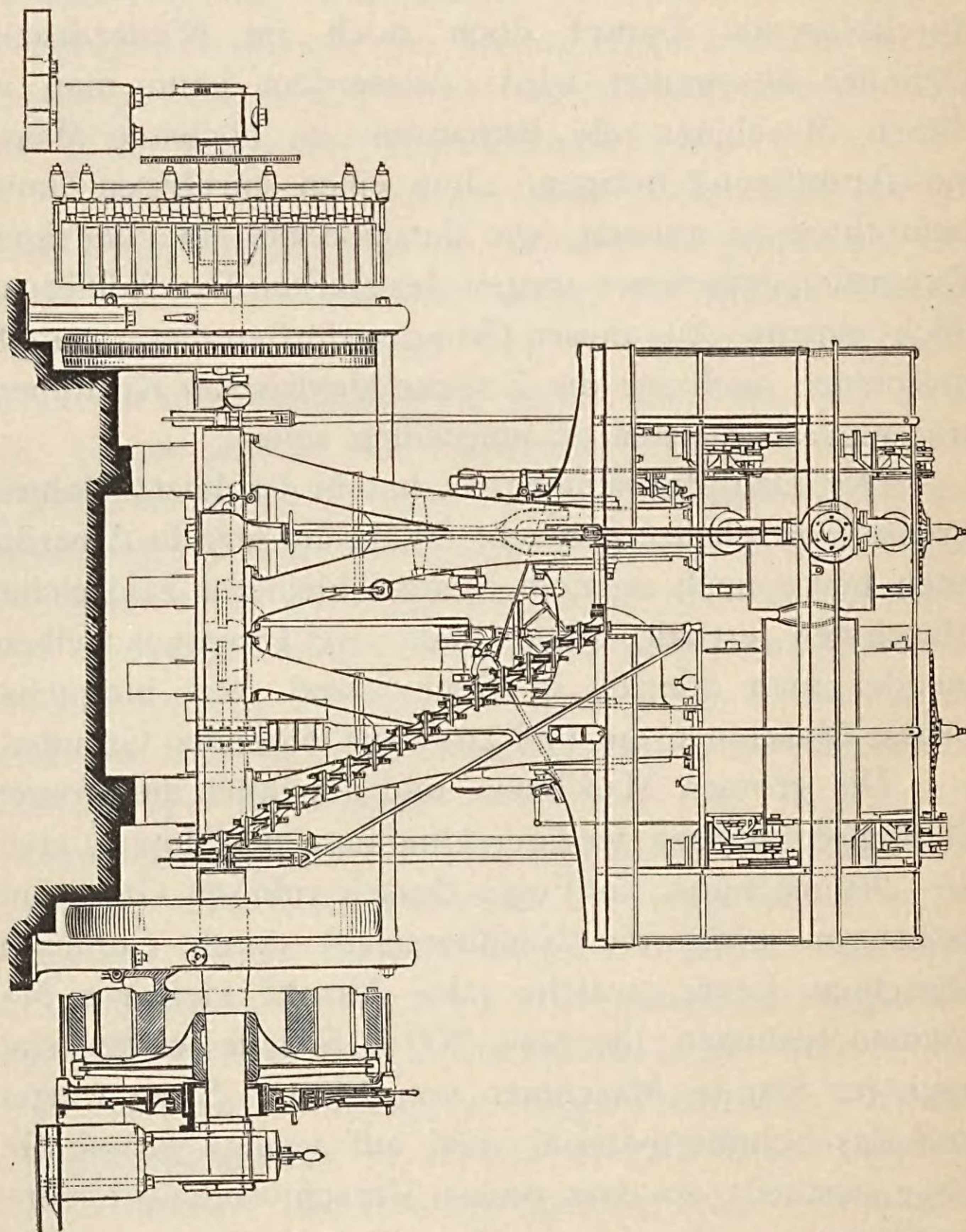
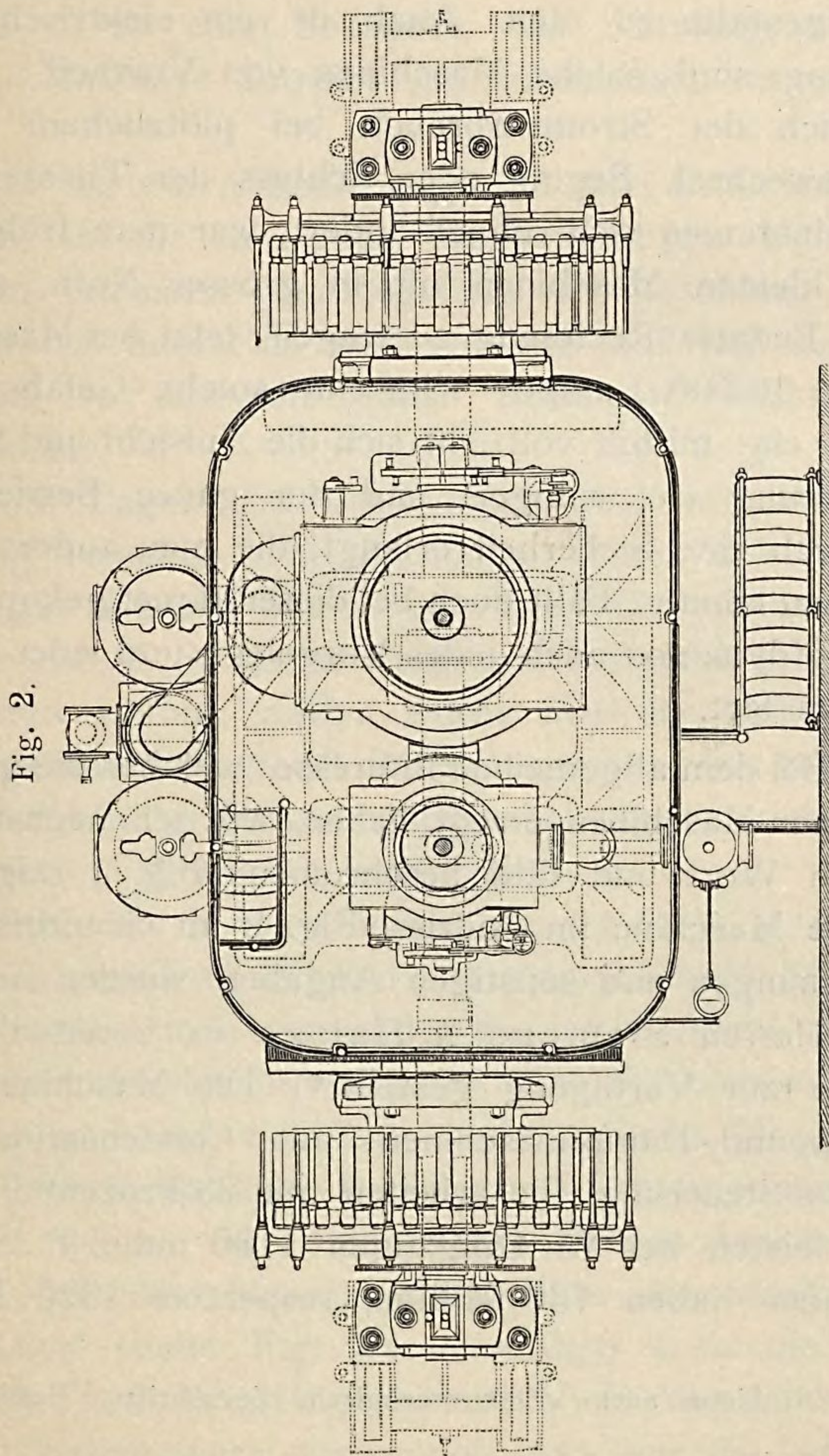


Fig. 1.

schinen mit nebeneinander liegenden Cylindern von van der Kerkhove & Cie. in Gent zu je 1000 P. S. Auf der Welle sitzen an jedem Ende die Armaturen

von Dynamos zu je 500 P. S. Es sind dies Innenpol-
Maschinen von Siemens & Halske. Vier solcher



Maschinen stehen z. B. in der Centrale Markgrafenstrasse (s. Fig. 1 und 2). Nur wenig Leute sind fortwährend beschäftigt, die Lager zu controliren und nöthigenfalls zu ölen. Auch in rein elektrischer Beziehung sind solche Maschinen von Vorthail. Wenn nämlich der Stromverbrauch bei plötzlichem Witterungswechsel, Beginn oder Schluss der Theater oder Illuminationen sich schnell ändert, war man früher bei den kleinen Maschinen oft in grosser Noth, schnell dem Bedarfe Rechnung zu tragen. Jetzt bei Maschinen für je 10.000 Lampen tritt eine solche Gefahr kaum mehr ein; mithin vollzieht sich die Aufsicht und Stromregulirung viel ruhiger, und der ganze Betrieb hat dadurch eine Sicherheit erlangt, die man anders kaum erzielen könnte. Fällt doch bei diesen direct gekuppelten Dampfdynamos auch jedes Vorgelege und jeder Treibriemen fort.

Bei dem allgemeinen Interesse, welches die grossen Berliner Maschinen erregt haben, will ich nachstehend sie in Wort und Bild beschreiben: Fig. 1 zeigt eine solche Maschine im Aufriss, Fig. 2 im Grundriss. Die Zeichnungen und sonstigen Angaben wurden mir von den Herren Siemens & Halske in bereitwilligster Weise zur Verfügung gestellt.*) Die Maschinen sind Compound-Dampfmaschinen mit Condensation und Corliss-Steuerung. Sie arbeiten mit 23 Prozent Füllung und leisten bei 75 Umgängen 1180 indic. P. S. Die Cylinder haben 736 Millim., respective 1320 Millim.

*) Siehe auch »Elektrotechnische Zeitschrift«. Berlin 1890. Heft 4.

Durchmesser, der Kolbenhub ist 1447 Millim. Der Dampfverbrauch beträgt 6 Kg. für eine indic. P. S. Zum Anlassen dient eine Dampfmaschine von 30 P. S., welche durch eine Schnecke das Schwungrad der grossen Maschine antreibt und automatisch ausgerückt wird.

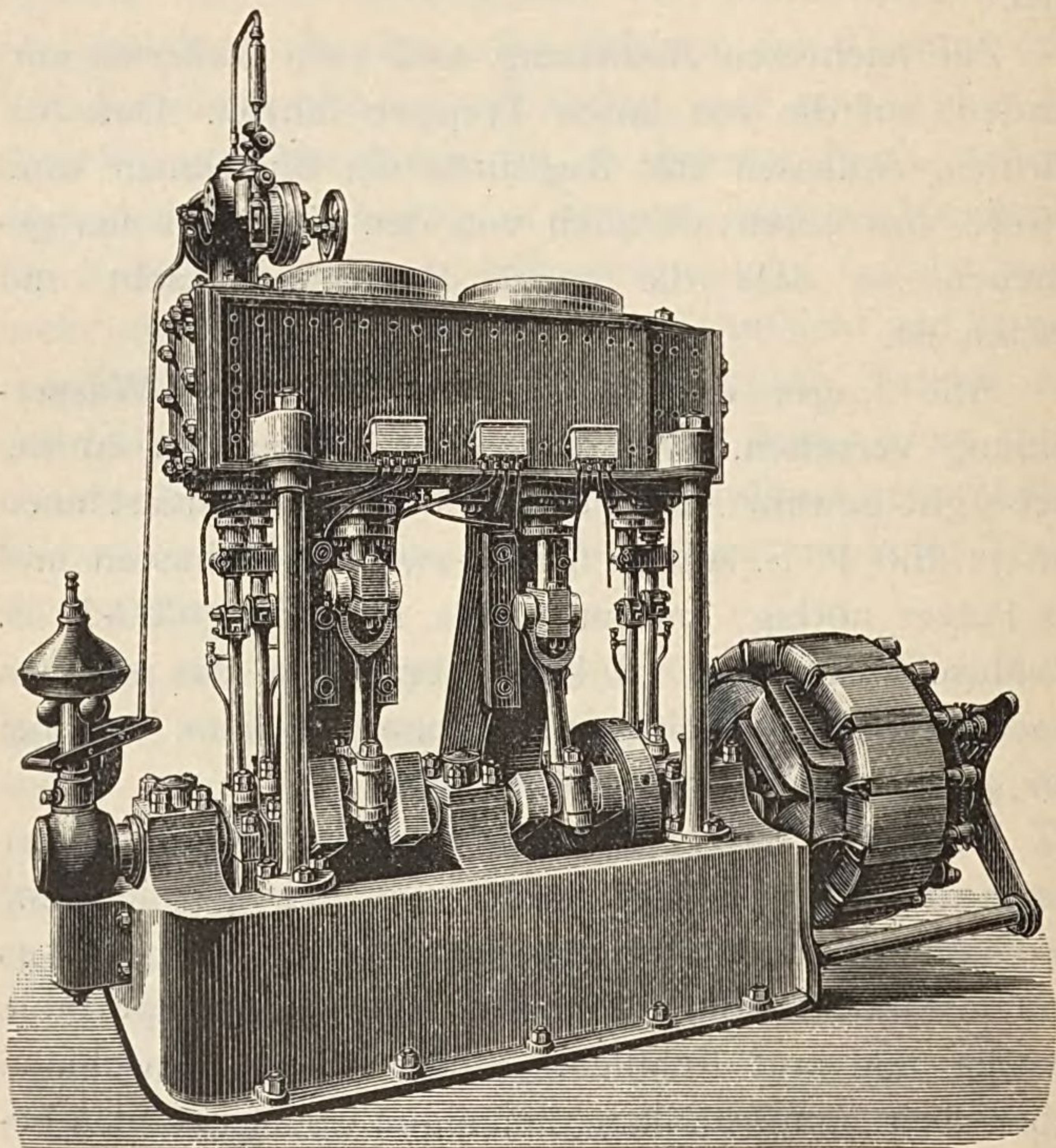
Zur leichteren Bedienung sind zwei Gallerien vorhanden, auf die von unten Treppen führen. Das Anwärmen, Anlassen und Reguliren der Maschinen kann sowohl von unten als auch von den Gallerien aus geschehen, so dass die ganze Bedienung leicht und einfach ist.

Alle Lager und Gleitbahnen sind mit Wasserkühlung versehen. Die Maschinen haben sich im Betriebe gut bewährt. Für je zwei ältere Dampfmaschinen von je 150 P. S. waren früher zwei Maschinisten und ein Putzer nöthig; mithin würde man für 4000 P. S. 27 Maschinisten und 13 Putzer brauchen, das ist etwa das Vierfache an Bedienungspersonal als man jetzt bei den grossen Maschinen nöthig hat.

Von den Dampfmaschinen mit grosser Kolbengeschwindigkeit ist man je länger je mehr abgekommen, man verwendet sie nur noch da, wo es die Umstände absolut verlangen, also für transportable Zwecke und auf Schiffen. Unter diesen Maschinen haben sich hauptsächlich diejenigen Constructionen behauptet, wie sie für Schiffszwecke noch in Anwendung stehen, also Maschinen mit doppelter oder dreifacher Expansion (siehe Fig. 3), ausserdem auch die Construction von Westinghouse. Viele Maschinen anderer Constructeure verwendet man nur da, wo die

Kohle billig ist und hohe Geschwindigkeit verlangt wird, weil sie im allgemeinen nicht ökonomisch und starker Abnützung unterworfen sind. Hierher gehören z. B. die

Fig. 3.



Brotherhood-Motoren. Sie können durch Dampf, Wasser oder comprimirt Luft betrieben werden. Die Rotations-Geschwindigkeit beträgt bei Anwendung von Wasser bei 50 Atmosphären 80 Umdrehungen per

Minute, bei Anwendung von Dampf mit 1 Atmosphäre Druck 950 Umdrehungen, mit condensirter Luft von 45 Atmosphären 2000 Umdrehungen.

Jeder der drei Cylinder, welche in Abständen von 120 Grad von einander auf derselben Welle befestigt sind, hat einen Durchmesser von 18 Centimeter und einen Kolbenweg von 15 Centimeter. Die ganze Maschine wiegt nur 510 Kgr. und giebt bei einer Rotations-Geschwindigkeit von 300 Umdrehungen eine Arbeit von 20 Pferdekraften.

Heissluft- und Petroleummotoren dürften wohl nur in den seltensten Fällen für den Betrieb elektro-dynamischer Maschinen zum Zwecke der elektrischen Kraftübertragung Anwendung finden; die letztgenannten in grösserem Massstabe allenfalls in Pennsylvanien und anderen Erdöldistricten. Dagegen werden Gasmaschinen jetzt schon, ihrer bequemen Betriebsweise halber mit grosser Vorliebe für elektrische Kraftübertragung, zu Beleuchtungszwecken etc. angewandt, und, wenn einmal rationelle und ökonomisch befriedigende Darstellungsmethoden für das, mit einiger Berechtigung als »Brennstoff der Zukunft« bezeichnete Wassergas aufgefunden sind, dürften Gasmotoren von der allergrössten Bedeutung für die Zwecke elektrischer Kraftübertragung werden. Von den verschiedenen Systemen eignet sich besonders Otto's Motor zur Ausführung in grösserem Massstabe; doch findet nur für je zwei Stösse des Kolbens eine Explosion statt und die Bewegung ist daher eine sehr unegale; die Otto'schen Motoren mit zwei Cylindern, welche eine

Arbeit von 25 bis 50 Pferdekraften erzeugen, sind allerdings brauchbarer.

Diejenigen Gas motoren, welche sich vielleicht noch am Besten für den Betrieb elektrischer Motoren eignen, sind die Clarke'schen, in denen für jede Umdrehung je eine Explosion stattfindet. Diese Motoren arbeiten recht regelmässig, wie man auf der Pariser Ausstellung sehen konnte, wo ein solcher eine Arbeit von 10 Pferdekraften entwickelte.

Von kinetischer Energie kommt für unsere Zwecke nur die lebendige Kraft der Luftströmungen, der Wind, und die Bewegung des Wassers in Frage. Erstere wird ausgenützt durch Anwendung von Rädern, welche einen Theil der lebendigen Kraft des gegen sie stossenden Windes aufnehmen und auf eine dadurch in Umdrehung versetzte Welle übertragen. Da die Richtung des Windes eine veränderliche ist, muss die Unterstützung des Rades um eine verticale Achse drehbar sein, um das Rad jederzeit in die günstigste Stellung gegen den Wind bringen zu können. Bei der deutschen oder Bockmühle ist das ganze Gebäude, bei der holländischen oder Thurmmühle nur der oberste Theil, die Haube, drehbar. Weit vollkommener sind die amerikanischen Windräder, insbesondere Halladay's Construction, welche mittelst einer eigenthümlichen Vorrichtung ermöglicht, dass sich dieselben nicht nur jeder Windrichtung, sondern auch jeder Windstärke gemäss einstellen, so dass die effectiv auf die Windflügel ausgeübte Kraft sich stets gleich bleibt und also eine für unsere Zwecke wichtige stets gleichmässige Leistung erreicht wird. Der Vortheil, dass die Betriebskraft des Windes gar

nichts kostet und gar keiner Beaufsichtigung bedarf, wird den Windmotoren in offenen Gegenden mit regelmässigen Windströmungen immer einige Anwendung sichern, und wir zweifeln nicht, dass sie in manchen Fällen auch für die elektrische Kraftübertragung von Bedeutung sein werden. Kostspielig wird die Anlage allerdings immer bleiben, der automatischen Regulirung wegen, von der weiter oben schon die Rede war.

An für unsere Zwecke benützbaren Wasserkraften sind zu unterscheiden, die Triebkraft des freien Stromes unserer Flüsse, die Schwerkraft des Wassers bei künstlichen Gefällen oder natürlichen Wasserfällen und die in Ebbe und Fluth auftretende Einwirkung von Sonne und Mond auf das Weltmeer. Die Kraft des fliessenden Wassers im freien Strome ist schon in den ältesten Zeiten benützt worden, indem man, wie bei den heute noch in Gebrauch stehenden Schiffmühlen Räder mit breiten, flachen, geraden Schaufeln in das Wasser hängt und die durch Drehung derselben von ihren Axen aufgenommene Kraft in üblicher Weise fortleitet und ausnützt. Man hat diese einfachen und nur einen geringen Theil der Kraft verwerthenden Vorrichtungen vielfach ohne besonderen Erfolg zu verbessern gesucht, aber auch in ihrer jetzigen Gestalt geben sie bei breiten Flüssen mit rascher Strömung oft ein wohlfeiles Mittel zur Erlangung constanter Betriebskraft. Besseren Effect hat die Ausnützung wenn auch nur kleiner Gefälle auf unterschlächtigen Rädern. Erstere geben 30 bis 35, letztere bei 0.5 bis 1.5 Meter Gefälle bis zu 60 Prozent der natürlich vorhandenen Wasserkraft ab. Für Gefälle

von 1·5 bis 2·5 Meter und Wassermengen von 0·3 bis 2·5 Kubikmeter per Secunde eignen sich Kropfräder, für höhere Gefälle rück- oder mittelschlächtige Räder, für ganz hohe Gefälle endlich von 3 bis 12 und mehr Meter und kleine Wassermengen von 0·3 bis 0·8 Kubikmeter sind overschlächtige Wasserräder vorzuziehen; doch nimmt man von 10 bis 100 Meter Gefälle und grösseren Wassermassen ausschliesslich Wasserräder oder Turbinen, welche man als Actions- oder Druckturbinen bezeichnet, wenn die mechanische Arbeit ausschliesslich aus der lebendigen Kraft des Wassers, d. h. nur durch Verwerthung von dessen Geschwindigkeit gewonnen, als Reactions- oder Gegendruckturbinen, wenn zwar auch zum Theil die lebendige Kraft, in der Hauptsache aber der Druck des Wassers wirksam wird.

Für Zwecke der elektrischen Kraftübertragung sind zwar alle Arten von Wasserrädern verwendbar, doch die Turbinen wegen ihres vorzüglichen Nutzeffectes sowohl bei künstlich hergestellten, als auch natürlichen Wasserfällen die vortheilhaftesten.

Ueber die Nutzbarmachung der Ebbe und Fluth stellt Siemens folgende interessante Betrachtungen an. An den Meeresufern, resp. in den Buchten, müssten grosse Becken oder Reservoirs angebracht werden, die während der Fluth gefüllt und zur Ebbezeit ihres Inhaltes wieder entleert würden. Am besten kann die Kraft des ein- und ausfliessenden Wasserstromes mit Hilfe von Turbinen für niederes Gefälle in unseren Dienst gezogen werden. Nehmen wir das thatsächliche Steigen der Fluth auf 12 Fuss an, so würden 8 Fuss während der

halben Zeit des Steigens oder Fallens verfügbar sein, was einer effectiven Druckhöhe von 4 Fuss während der 20 Stunden gleichkommt. Welches ist hiernach die Kraft, die je ein Morgen der Wasserfläche ergeben würde? Ein Morgen umfasst 43·560 Quadratfuss und das Gewicht des Seewassers beträgt 64 Pfund per Kubikfuss. Multiplicirt man diese Zahlen mit der Höhe des Falles und dividirt das Product durch das Aequivalent einer Pferdekraft, so ergibt sich, dass 5 bis 6 Pferdekräfte die effective Kraft eines Morgens eingeschlossenen Seewassers sind. Wenn wir aber die bedeutenden Kosten in Betracht ziehen, welche die Construction solcher Bassins verursachen würde, wenn wir ferner den grossen Werth bedenken, den die Buchten resp. geschützten Stellen der Meeresufer, wo allein die Construction solcher Bassins thunlich wäre, für andere Zwecke besitzen, so begreifen wir leicht, dass die Nutzbarmachung der Fluth ebenso kostspielig, wie durch natürliche Hemmnisse begrenzt ist. Obgleich die Kraft selbst anscheinend ohne Ausgaben erlangt würde, so zeigen sich doch so schwerwiegende Nachtheile in der jeweiligen Unterbrechung der Zuführung von Kraft, in der Verzinsung der Auslagen, den Unterhaltungskosten und in der Neigung solcher Bassins zu versanden dass wir die Ausbeutung dieser Quelle natürlicher Kraft vorläufig wohl kaum in ernstliche Aussicht zu nehmen brauchen.

In Amerika versucht neuerdings Rankin ein Floss, dessen Bewegungen auf Seiltrommeln übertragen werden, für die Benützung dieser Kraft herzurichten.

Dasselbe Urtheil dürfte auch von einer directen Verwerthung der Heizkraft der Sonne mit Hilfe grosser Brenngläser zum Heizen von Dampfkesseln oder zum Erwärmen von Luft für calorische Maschinen gelten. So interessant die neueren Versuche, namentlich der Franzosen in Algier und der Sahara auch sind, die ökonomischen Resultate waren bisher so ungünstig, dass von einer Nutzanwendung für industrielle Zwecke im Allgemeinen und für elektrische Kraftübertragung insbesondere keine Rede sein kann.

Es kommen also als Krafterzeugungs-Maschinen für unsere Zwecke nur Windräder, Wasserräder, Turbinen, Gasmotoren und Dampfmaschinen in Betracht; dieselben müssen ihre Kraft in rotirender Form und möglichst gleichmässig an die elektrischen Maschinen abgeben.

Selbst die am regelmässigsten arbeitenden Motoren jedoch geben nur dann in Verbindung mit elektrischen Maschinen ihren vollen Nutzen ab, wenn die Verbindung zwischen den beiden Motoren eine innige und unveränderliche ist. Treibriemen sind nicht anzuwenden, wo es sich vermeiden lässt, da eine jede Verschiebung des Treibriemens eine Variation des Stromes der elektrischen Maschinen verursacht. Am besten ist es, womöglich die Axe des Elektromotors mit dem Betriebsmotor direct zu verbinden, und die direct wirkenden Dampfmaschinen kommen für die elektrischen Motoren immer mehr und mehr in Anwendung.

Die neueren Dynamos mit Armaturen von grossem Durchmesser (erweiterter Grammering) wozu auch die Radanker Dynamo von W. Fritzsche gehört, er-

leichtern diese Anwendungsart. Letztere machen schon bei mässiger Grösse nur circa 180 Umgänge per Minute und können in Folge dessen auch direct auf die Axe von Turbinen oder Gasmotoren gesetzt werden.

2. Die elektrischen Maschinen als Stromerzeuger.

Bezüglich der Theorie, der historischen Entwicklung und der Construction von elektrischen Maschinen im Allgemeinen, müssen wir auf den ersten Band der »Elektrotechnischen Bibliothek« verweisen und können uns hier nur kurz fassen.*)

Magnetelektrische Maschinen beruhen auf der Erfahrung, dass Magnete in geschlossenen Leitungsdrähten, wenn sie in deren Nähe bewegt werden, elektrische Ströme hervorrufen (induciren), welche denselben Gesetzen unterworfen sind, wie die von Stromleitern erzeugten Inductionsströme. Schiebt man z. B. in eine hohle Drahtspule, deren Drahtenden durch ein Galvanometer geschlossen sind, einen Magnetstab ein, so zeigt die Ablenkung der Magnetnadel des Galvanometers sofort einen, die Drahtwindungen durchfliessenden Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung hat wie die Ströme, von denen wir nach Ampère's Theorie annehmen, dass sie den Magnet umkreisen. Dieser »inducirte« Strom dauert aber nur so lange

*) Am ausführlichsten behandeln dieses Thema: »Handbuch der Elektrotechnik« von Dr. E. Kittler, Ferdinand Enke, Stuttgart, und Silvanus P. Thompson, »Dynamoelectric Machinery,« E. & F. N. Spon, London.

als der Magnet in Bewegung ist; bleibt derselbe ruhig innerhalb der Spule, so kehrt die Nadel nach einigen Schwingungen in ihre Ruhelage zurück. Zieht man jetzt den Magnet wieder aus der Spule heraus, so entsteht in letzterer ein ebenfalls nur ganz kurz dauernder Strom, welcher mit den um den Magnet kreisenden Strömen gleich gerichtet ist und daher die Magnetnadel nach der entgegengesetzten Seite wie vorhin ablenkt. Der beim Annähern des Magnets inducirte Strom wirkt nach den Gesetzen der Elektrodynamik abstossend auf den Magnet, der beim Entfernen inducirte dagegen anziehend; der Inductionsstrom setzt aber der jeweiligen Bewegung des Magnets einen Widerstand entgegen, zu dessen Ueberwindung eine gewisse Arbeitsmenge aufgewendet werden muss, welcher die Energie des erzeugten Inductionsstromes entspricht.

Statt nun den Magnetstab in die Drahtspule hineinzuschieben und wieder herauszuziehen, kann man auch die Höhlung der Spirale mit einem Stab von weichem Eisen ausfüllen, welcher durch Annäherung und Entfernen eines Magnetpols abwechselnd magnetisch und wieder unmagnetisch gemacht wird. Daher giebt man mit Vorthail sowohl dem Stahlmagnet als auch dem Eisenkern die Gestalt eines Hufeisens, auf dessen Schenkel bei letzterem zwei mit einander verbundene Drahtspulen aufgeschoben sind, und bewirkt die abwechselnde Annäherung und Entfernung der Magnetpole dadurch, dass man entweder den Magnet oder besser den Eisenkern um die mit seinen Schenkeln parallele Mittellinie dreht. Wenn auf diese Weise der Eisenkern in rasche Umdrehung versetzt wird, so

werden die ihn umgebenden Drahtwindungen von abwechselnd entgegengesetzten Strömen durchlaufen, deren Richtung sich jedesmal umkehrt, wenn die Pole des weichen Eisens den Magnetpolen gegenüberstehen. Um dem in den Drahtspulen abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Strom im Schliessungsdraht die gleiche Richtung zu geben, wird auf der Drehungsaxe ein Stromwechsler oder Commutator angebracht, auf dessen Construction wir hier nicht näher eingehen können.

Entfernt man die ungleichnamigen Pole zweier Elektromagnete, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden, von einander, so wird in den Windungen ein Strom inducirt, welcher vermöge seiner elektrodynamischen Wirkung die entgegengesetzte Wirkung hervorzubringen sucht, also die sich ohnehin anziehenden Pole zu nähern strebt. Dieser inducirte Strom ist daher mit dem bereits vorhandenen gleich gerichtet und verstärkt denselben. Da diese Verstärkung des Stromes auch eine Verstärkung des Magnetismus des Elektromagnets und sonach auch eine Verstärkung seiner inducirenden Wirkung zur Folge hat, so nimmt die Stromstärke, wenn jene Bewegung fortgesetzt wird, in rascher Steigerung bis zu einer gewissen Grenze zu, so dass ohne Verminderung der Wirkung die Stromquelle, welche den ursprünglichen Strom lieferte und die Eisenkerne magnetisch machte, ausgeschaltet oder sogar vom Anfang an weggelassen werden kann, da der geringe Magnetismus, welcher den Eisenkernen anhaftet, genügt, um die Wirkung einzuleiten. Auf diesem Verhalten beruhen die von W. Siemens erfundenen

und zu grosser Vollkommenheit gebrachten dynamo-elektrischen Maschinen, welche sich von den magnet-elektrischen dadurch unterscheiden, dass bei letzteren ein Stahlmagnet von bestimmtem Magnetismus, bei ersteren dagegen ein Elektromagnet zur Anwendung kommt, dessen Magnetismus mit der Drehungs-Geschwindigkeit zunimmt.

Dieser bisher allgemein üblichen Erklärung der Vorgänge in einer Dynamomaschine habe ich versucht, auf Grund der neueren Forschungen, in der Einleitung eine andere Form zu geben und brauche daher an dieser Stelle hier nicht nochmals darauf einzugehen, sondern will einige zur Stromerzeugung gebrauchten elektrischen Maschinen im Nachstehenden beschreiben.

Bis vor wenig Jahren benützte man für die Zwecke der Kraftübertragung lediglich den Gleichstrom. Neuerdings hat man auch den Wechselstrom für diese Zwecke nutzbar gemacht und in jüngster Zeit auch den Drehstrom. Entsprechend diesen drei Stromarten haben wir also elektrische Maschinen von drei verschiedenen Kategorien zu betrachten.

Ueberall da, wo eine constante Kraft auf nur einen Elektromotor zu übertragen ist, verwendet man mit Vortheil die einfache Dynamomaschine mit hintereinander geschalteten Wickelungen. Ist der Kraftbedarf jedoch sehr schwankend und sind mehrere Elektromotoren mit Strom zu versorgen, so verwendet man für dieselben Dynamos mit gemischter Wickelung, resp. mit Nebenschlusswicklung und entsprechender Regulirung.

Der erste Fall wird höchst selten eintreten, so dass hauptsächlich Dynamos der beiden letzteren Arten zur Anwendung kommen.

Diese stromerzeugenden Dynamos unterscheiden sich nicht von denen zur Beleuchtung gebrauchten, doch pflegt man mit Vortheil für Maschinen, die lediglich zur Kraftübertragung und ohne gleichzeitige Lichterzeugung dienen sollen, höhere Spannungen zwischen 300—500 Volt anzuwenden.

Vorweg will ich hier einige Bemerkungen über hohe Spannungen einschalten.

Hauptsächlich auf unserem Continente hat man lange gegen die Anwendung hoher Spannungen agitirt, jedoch entschieden mit Unrecht.

Geradeso wie man die Dampfspannung unserer Kessel von 3—4 Atmosphären jetzt auf 10—20 Atmosphären erhöht hat und Wasserleitungen mit 50 Atmosphären ohne Störungen vortheilhaft verwendet, ebenso ist es berechtigt, die elektrische Spannung zu steigern.

Die Gefahr für das Leben beginnt etwa bei 300 Volt, doch hat Verfasser schon Schläge von Leitungen mit 1200 Volt ohne irgend welche Folgen empfangen. Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den Körper hängt von dessen elektrischem Widerstand ab. Derselbe ist individuell verschieden und natürlich auch verschieden zwischen verschiedenen Körpertheilen. Bei einer Ableitung durch die Hand zur Erde kommt es natürlich auch noch auf die Beschaffenheit des Fussbodens an, auf welchem der Betreffende steht. Schon wenige hundertstel Ampère können tödtlich wirken. Wollte man also, wie viele vorschlagen, jegliche

Spannung verbieten, die tödtlich wirken könnte, dann müsste man eine so geringe Spannung wählen, dass eine vortheilhafte Kraftübertragung auf grössere Entfernung einfach unmöglich wäre. Da eine solche Schädigung der gesamten Industrie jedoch einfach undenkbar ist, so muss man verständiger Weise hohe Spannungen gestatten. Was man verlangen kann und muss, ist allein eine Ausführung der Anlage und Construction, dass jede Gefahr nach Möglichkeit verhindert wird. Verfasser hat jahrelang Anlagen mit 1200 und 2000 Volt ohne irgend welchen Unfall betrieben und kann also aus Erfahrung verbürgen, dass man mit solchen Spannungen anstandslos und sicher arbeiten kann.

Die Schutzvorrichtungen gegen elektrische Schläge bestanden in vorzüglicher Isolirung aller Theile. Die elektrischen Maschinen waren durch starke Holzbalken von den Fundamenten isolirt, der Fussboden rings um die Maschinen mit Asphalt bedeckt, alle Leitungen sorgfältig verlegt und geschützt. Ein jeder Betrieb bringt Gefahren mit sich, die sich jedoch durch verständige Massregeln auf ein Minimum reduciren lassen. Ob die Anlage mit 2000 Volt oder mit 30.000 Volt arbeitet, ist gleichgiltig, die Gefahr des Todtschlags bei unvorsichtiger Berührung ist in beiden Fällen gleichmässig vorhanden. Diejenigen, welche in solchen Fragen das grösste Aufhebens machen, pflegen gewöhnlich am wenigsten dazu berufen zu sein, ihr Urtheil abzugeben. Haben doch bis dato nur Wenige einen Betrieb mit 2000 Volt überhaupt kennen gelernt; oder die Gegner der hohen Spannung opponiren aus Geschäfts-

interesse, weil sie vielleicht nicht in der Lage sind, Anlagen mit so hoher Spannung auszuführen.

Die kleinen Dynamos aus 1880 mit geringen Eisenmassen ergaben für die Zwecke der elektrischen Kraftübertragung keine günstigen Resultate.

Das Verhältniss der von der Welle des Elektromotors abgegebenen Arbeit zu der von der Welle der Dynamos aufgenommenen Arbeit nennt man den Nutzeffect. Die Dynamos damaliger Zeit gaben für jede Pferdekraft, die sie absorbirten, nur 450—500 Volt-ampère an ihren Klemmen elektrische Arbeit wieder, während heute jedes gute Fabrikat bis zu 630 Volt-ampère ausgiebt. In der Tabelle (Seite 54), welche eine Uebersicht der speciell zur Kraftübertragung gebauten Oertikon-Dynamos enthält, sind die Verluste in der Leitung natürlich nicht mit berücksichtigt, da dieselben je nach der Anlage und Entfernung ja ganz verschieden sind.*)

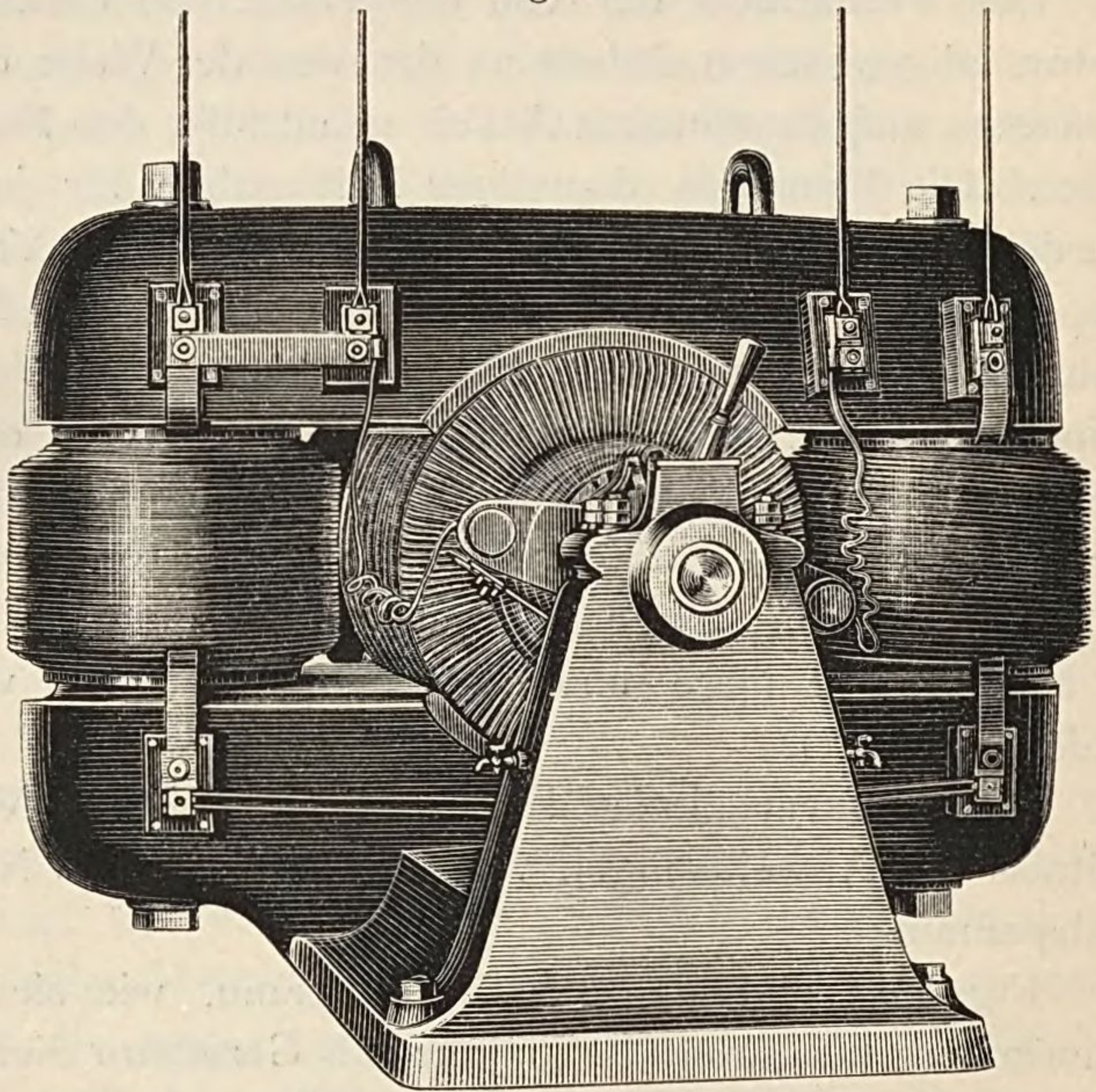
Das Güteverhältniss schwankt in gleichem Verhältniss mit Abweichungen von den angegebenen Normalspannungen.

Figur 4 zeigt eine Oertikon-Dynamo, wie sie in Thorenberg bei Luzern lange Jahre als Generator diente, um 80—100 Pf. St. nach der Flumühle zu übertragen. Figur 5 ist ein neueres Modell derselben Fabrik für 250 Pf. St. Diese Maschinen sind äusserst kräftig gebaut. Die Collectoren halten 5—10.000 Stunden oder 10—20 Jahre, die Bürsten 1000—3000 Stunden.

*) Nach mir freundlichst von der Maschinenfabrik Oertikon zur Verfügung gestellten Daten.

Von den in Capitel II. 1. erwähnten grossen Dynamos der Berliner Centralen giebt Figur 6 eine Vorstellung. Die Maschinen sind von Siemens & Halske für eine Leistung von 2600 Ampère und 140 Volt bei

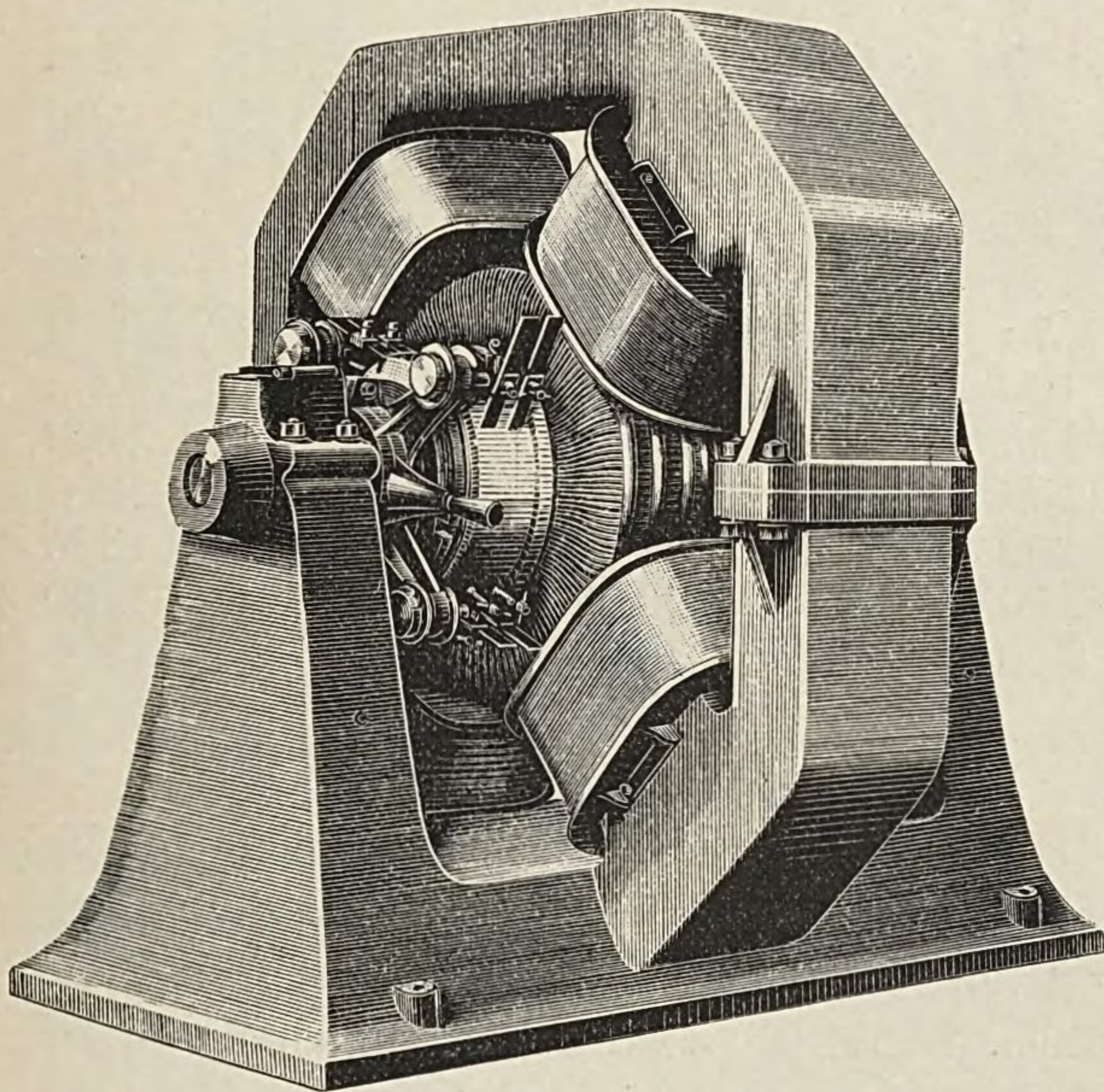
Fig. 4.



80 Umdrehungen per Minute gebaut. Das Gewicht beträgt 26.000 Kgr., der elektrische Wirkungsgrad ist 95 Proz. Die Constructionsdetails sind aus den Figuren 1 und 2 noch besser zu ersehen. Die Armatur hat 3 M. äusseren Durchmesser, sie besteht aus Eisenblechscheiben, welche in bekannter Weise isolirt sind. Die Wicklung ist aus Kupferstäben zusammengesetzt, auf

deren oberer Fläche die den Strom ableitenden Bürsten schleifen. Nach Montirung der Maschine wurde erst an Ort und Stelle die Wicklung aufgebracht. Die Bedienung dieser Maschinen ist sehr einfach, Verstellen

Fig. 5.



der Bürsten während des Betriebes ist nicht erforderlich, Funkenbildung an den Bürsten findet nicht statt.

Ausser den Gleichstromdynamos verwendet man auch Wechselstrommaschinen als Generatoren. Die bekanntesten Typen dieser Maschinen sind die von Ganz & Co. in Budapest, sowie von G. Kapp, Ferranti und Mordey in London.

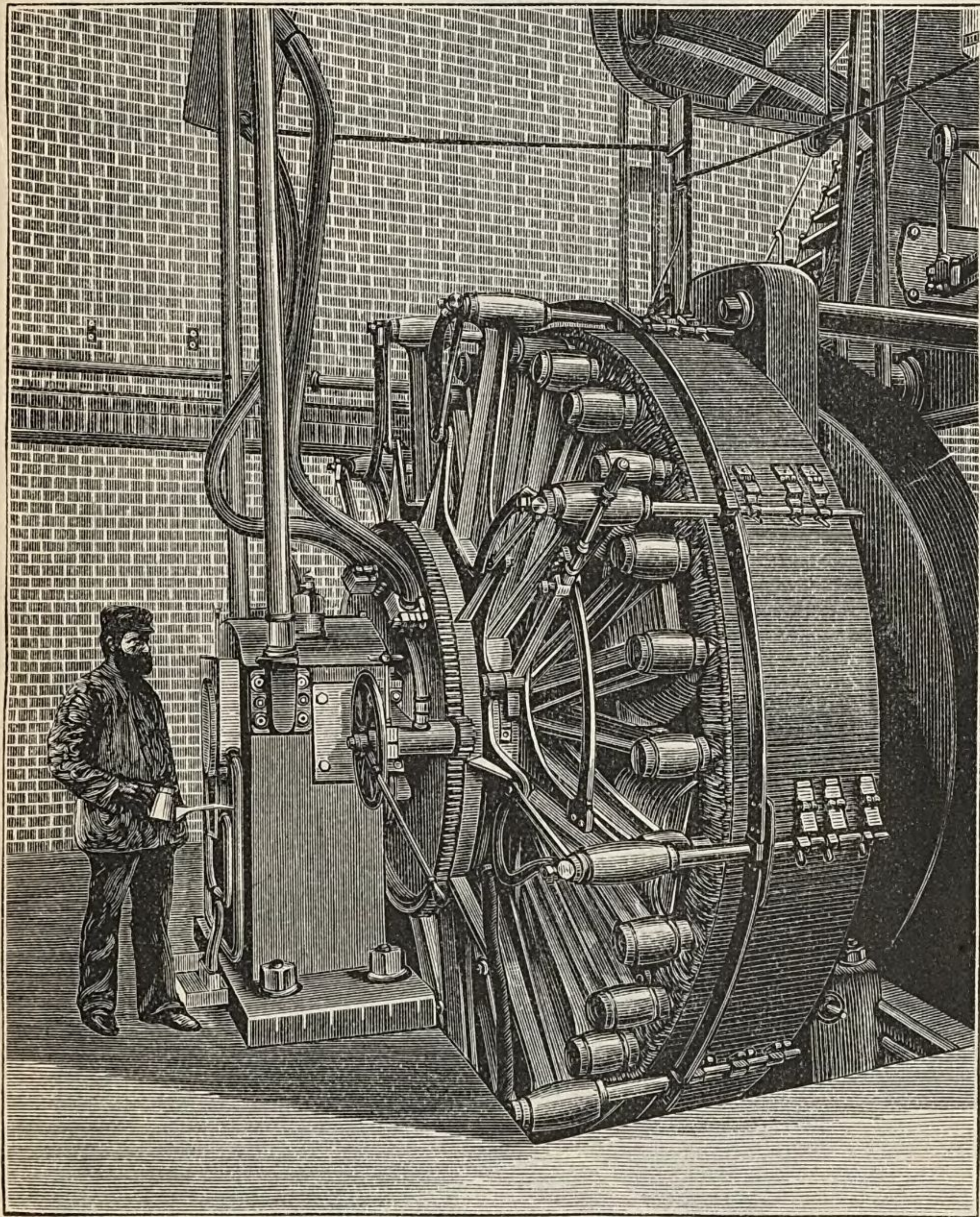
Generatoren.

Kraftbedarf	Um- drehungen per Minute	Gewicht Kilogr.	Commercielles Güteverhältniss	
			in Prozent	bei einer nor- malen Span- nung von Volts
5	1250	750	85	200
10	1000	1.250	86	400
20	800	2.500	87	600
30	700	3.500	88	700
50	600	6.000	89	800
75	500	9.000	90	900
100	450	12.000	91	1000
125	400	15.000	91	1100
150	360	18.000	92	1200
200	320	22.000	92	1300
250	280	26.000	93	1400
300	240	30.000	93	1500

Die Erzeugung des Wechselstromes geschieht in der Weise, dass man eine gerade Anzahl von Magneten derart im Kreise lagert, dass sie abwechselnde Pole erhalten. Dieselben werden gewöhnlich durch eine besondere Dynamomaschine magnetisirt. Die an den Polen vorbeigeführten Drahtspulen empfangen somit Inductionsströme wechselnder Richtung. Die Frequenz der Wechsel hängt somit von der Anzahl der Pole und der Umdrehungsgeschwindigkeit der Armatur ab. Die allgemeine Anordnung solcher Maschinen ist aus den Figuren 7 und 8 ersichtlich. Figur 7 stellt eine Wechselstrommaschine nach Zipernowski von

500 Pf. St. dar, wie sie zu Rom in der Centrale im Betriebe sind. Die Elektromagnete liegen innen und

Fig. 6.



rotiren mit der Welle. Bei der Maschine von Kapp (Fig. 8) sind die Magnete zu beiden Seiten einer flachen Scheibe angeordnet, welche zwischen denselben umläuft.

In Bezug auf den Drehstrom oder Mehrphasen-

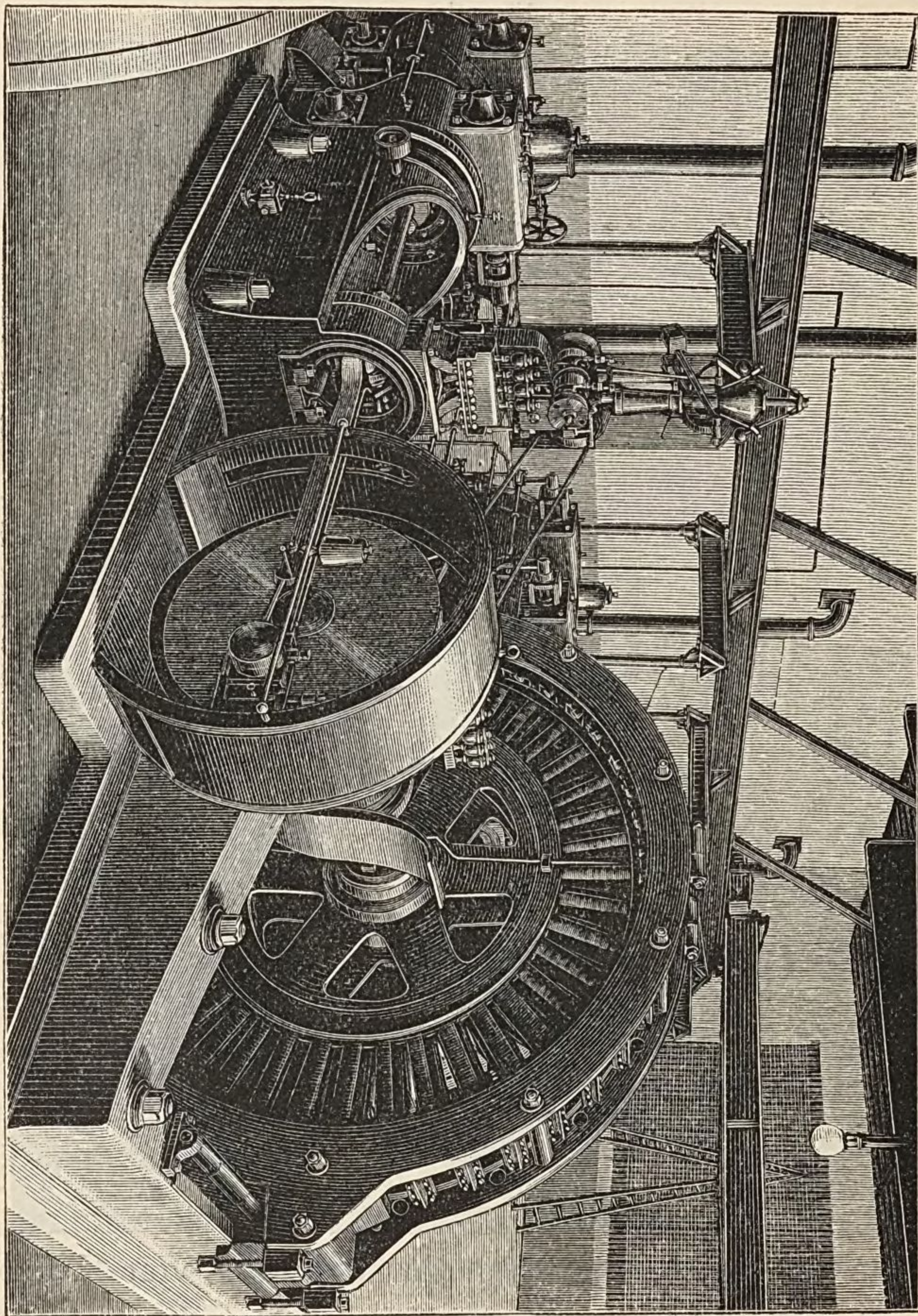


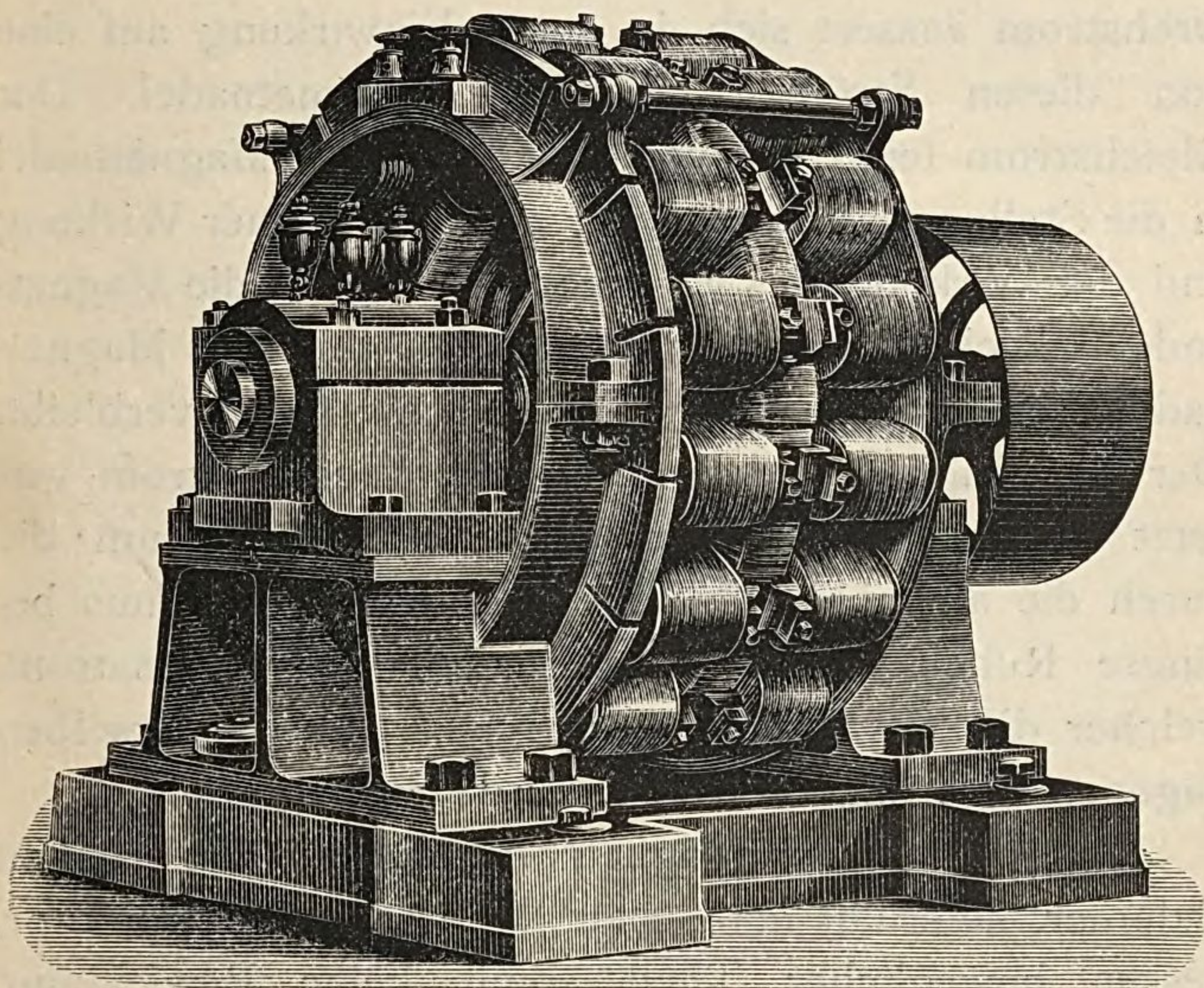
Fig. 7.

strom, der kürzlich erprobt ist, folgen wir der Beschrei-

bung dieser Neuerung auf Seite 217 des »Elektro-technischen Anzeigers« vom 12. Februar 1891.

Der Drehstrom stellt ein System von Wechselströmen mit gegenseitig verschobenen Phasen dar. Für gewöhnlich werden drei Wechselströme verwendet, für

Fig. 8.



gewisse Zwecke lässt sich indessen die Anzahl der Ströme des Complexes weiterhin steigern. Diese Ströme werden in einer durch Gleichstrom erregten, speciell construirten Wechselstrommaschine erzeugt, welche der Stromzahl entsprechend für gewöhnlich mit drei, für eine grössere Stromzahl mit entsprechend mehreren

Schleifringen versehen sind. Bei Anwendung von drei Strömen beträgt die Phasenverschiebung der einzelnen Ströme gegen einander 120^0 . Die Stromimpulse folgen sich entweder in der Reihenfolge 1, 2, 3, 1, 2, 3, oder 3, 2, 1 etc. und induciren hierbei einen rotirenden Magnetismus. In diesem Sinne besitzt der Drehstrom im Gegensatz zum Wechselstrom eine Richtung. Der Unterschied zwischen Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom äussert sich in deren Einwirkung auf eine von diesen Strömen umkreiste Magnetnadel. Der Gleichstrom lenkt die von ihm umkreiste Magnetnadel in die Stellung ab, in welcher zwischen seiner Wirkung und der Wirkung des Erdmagnetismus auf die Magnetnadel Gleichgewicht herrscht, in welcher die Magnetnadel bei constanter Stromstärke in Ruhe verbleibt. Der die Magnetnadel umkreisende Wechselstrom versetzt die Magnetnadel in eine Schwingung, um die durch die alleinige Wirkung des Erdmagnetismus bedingte Ruhelage der Magnetnadel. Der Drehstrom, welcher die Magnetnadel umkreist, ertheilt derselben dagegen eine dauernde rotirende Bewegung.

Ersetzt man die Magnetnadel durch einen eisernen Cylinder, so erhält man einen Drehstrom-Elektromotor, dessen beweglicher Theil somit keine Bewicklung, keinen Collector, keine Schleifringe zu enthalten, und überhaupt nicht in einem Stromkreise eingeschaltet zu sein braucht. Die kleineren Drehstrom-Elektromotoren enthalten einen massiven Eisencylinder, welcher mittelst Stahlwelle gelagert ist.

In der Drehstromdynamo wird eine Spannung von nur 50 Volt und eine hohe Stromstärke erzeugt.

Die Drehstromdynamo liefert in drei primären Leitungen ihren Strom nach einem speciellen Transformator. In einem späteren Capitel wollen wir auf diese neue Art der Kraftübertragung noch zurückkommen.

III.

Die Umwandlung des elektrischen Stromes in Kraft.

1. Die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes

für die Zwecke der Kraftübertragung erfolgt in derselben Weise und nach denselben Principien wie für die elektrische Beleuchtung.*) Ehe wir jedoch zu den speciellen Einrichtungen übergehen, betrachten wir zunächst die

Theorie der Umwandlung des Stromes in Arbeit.

Das für die Kraftübertragung wichtigste physikalische Gesetz, dessen Richtigkeit durch unzählige Experimente erprobt wurde, und welches in directer Beziehung zu der bekannten Theorie »der Erhaltung der Energie« steht, lautet: Wenn man eine bestimmte

*) Siehe hierüber J. Zacharias »Die elektrischen Leitungen« und »Die Reparatur und Unterhaltung der elektrischen Leitungen« von demselben Verfasser. Wien, A. Hartleben.

mechanische Energie aufwendet, um einen Stromerzeuger in Bewegung zu setzen, so wird die ganze aufgewendete Energie entweder in eine äquivalente neue Form von Energie umgewandelt, oder gleichzeitig in verschiedene Formen von Energie, z. B. Wärme, chemische Energie, Licht u. s. w., deren Summe genau äquivalent der stromerzeugenden Energie ist, d. h. es geht auch nicht der geringste Bruchtheil der aufgewendeten Energie verloren, sondern die letztere erscheint nur unter verschiedenen Formen in dem Stromkreise wieder; das praktische Problem besteht daher darin, möglichst viel der aufgewendeten Energie an dem gewünschten Orte und unter der Form wiederzugewinnen, welche man für einen bestimmten Zweck benöthigt.

Die Hauptformen von Energie nun, in welche sich der elektrische Strom umwandeln lässt, sind Wärme und Licht oder strahlende Energie, chemische Energie und mechanische Energie.

Unter der ersten Form, d. h. unter der Form von Wärme, tritt stets ein Theil des einen Leitungsdraht durchfliessenden Stromes auf, und die ganze Energie wird in Wärme verwandelt, wenn ausser dem Strome keine andere Arbeit verlangt wird. Nach dem von Joule und Anderen auf verschiedenen experimentellen und theoretischen Wegen nachgewiesenen Gesetz, dass die durch einen elektrischen Strom in der Zeiteinheit bewirkte Wärmeentwicklung dem Quadrate der Stromstärke und zugleich einer von der Beschaffenheit des Leiters abhängigen Grösse, welche man Leitungswiderstand nennt, direct proportional ist, lässt sich die pro Zeiteinheit (Secunde) als Wärme geleistete Arbeit A

des einen Leiter durchfliessenden Stromes, d. h. in dem letzten Falle die ganze auftretende Energie durch die Gleichung

$$A = I^2 W$$

ausdrücken, in welcher Gleichung I die Intensität des Stromes, W den Widerstand bezeichnet, sie wird kurzweg das Joule'sche Gesetz genannt.

Um dieses besser zu verstehen, wollen wir die Vorgänge in einem galvanischen Elemente betrachten. Das Zink oxydirt sich in diesem Elemente, es wird eine gewisse Quantität von Wärme frei, und zwar ist diese Quantität proportional dem Zinkverbrauche, oder mit anderen Worten der in dem Elemente auftretenden chemischen Energie; da nun nach einem von Faraday entdeckten Gesetze die durch einen elektrischen Strom erzeugte chemische Energie proportional der Intensität des Stromes und nach dem Ohm'schen Gesetze*)

*) Bei der Wichtigkeit dieses Gesetzes für die praktische Verwerthung des elektrischen Stromes sei es gestattet, hier kurz das Wesen desselben zu recapituliren: Schliesst man ein galvanisches Element oder einen sonstigen Stromerzeuger durch einen Draht, so zeigt ein gleichzeitig in den Schliessungskreis eingeschalteter Strommesser, dass der Strom schwächer wird, wenn man den Schliessungsdraht länger nimmt. Wir schreiben die Schwächung des Stromes einem Widerstand zu, welchen der Draht dem Durchgange des Stromes entgensetzt, und nehmen an, dass dieser Widerstand in demselben Verhältniss wie die Länge des Drahtes wächst. Hat man eine so grosse Drahtlänge eingeschaltet, dass der Widerstand, den der Strom beim Durchgang durch das Element selbst erleidet, nur sehr unbedeutend ist im Vergleich zum Widerstand des Drahtes, und bringt man nun die Stärke des Stromes durch weitere Verlängerung des Drahtes auf die Hälfte herab, so zeigt es sich, dass man, um dies zu erreichen, noch einmal dieselbe Drahtlänge einschalten und sonach den Wider-

$$I = \frac{E}{W}$$

ist, in welcher Gleichung I die Intensität, E die elektromotorische Kraft und W den Gesamtwiderstand der Leitung bezeichnet, so lässt sich die Richtigkeit der Gleichung

$$A = I^2 W$$

aus folgender Tabelle erkennen, welche die verhältnissmässigen Leistungen einer gewissen Anzahl von auf Quantität gekoppelten galvanischen Elementen veranschaulicht.

Anzahl der Elemente	Gesamtwiderstand der Leitung	Intensität des Stromes $= \frac{E}{W}$	Zinkverbrauch in jedem Ele- mente propor- tional zu I	Gesamt- Zinkverbrauch
1	1	1	1	1
2	1	2	2	$4 = (2 \times 2)$
3	1	3	3	$9 = (3 \times 3)$
4	1	4	4	$16 = (4 \times 4)$

stand verdoppeln muss. Die Stromstärke steht sonach im umgekehrten Verhältniss zum Widerstand des Schliessungskreises. Andererseits findet man, dass bei gleichbleibendem Widerstand des Schliessungskreises die Stromstärke doppelt so gross wird, wenn man zwei gleiche Elemente nach Art der Volta'schen Säule miteinander verbunden wirken lässt, wenn man also die »elektromotorische Kraft«, welche die strömende Elektrizität durch den Schliessungskreis treibt, verdoppelt. Es ergibt sich sonach das nach seinem Entdecker benannte **Ohm'sche Gesetz**: Die Stromstärke steht im geraden Verhältniss zur elektromotorischen Kraft und im umgekehrten zum Widerstand, oder: Die Stromstärke ist gleich der elektromotorischen Kraft, dividirt durch den Widerstand.

Aus dieser Tabelle erhellt, dass, da in einem jeden Elemente der Zinkverbrauch oder die auftretende Wärme proportional der Intensität des Stromes ist, und da in einem jeden von vier auf Quantität gekoppelten Elementen die Intensität $\frac{E}{W} = \frac{4}{1} = 4$ ist, die Wärme oder der Zinkverbrauch ebenfalls $= 4$ sein muss, also in den vier Elementen $= 16$, d. h. 4^2 , mit anderen Worten, die entwickelte Wärme ist proportional der Intensität des Stromes.

Koppelt man die Elemente auf Spannung, d. h. ändert man den Widerstand der Batterie, so lässt sich aus der folgenden Tabelle erkennen, in welcher Beziehung der Zinkverbrauch oder die entwickelte Wärme zu dem Widerstande steht.

Zahl der Elemente	Gesamtwiderstand des Stromkreises	Intensität des Stromes $= \frac{E}{W}$	Zinkverbrauch in einem Elemente proportional der I	Gesamtzinkverbrauch in den Batterien
1	1	1	1	$1 = (1 \times 1)$
2	2	1	1	$2 = (1 \times 2)$
3	3	1	1	$3 = (1 \times 3)$
4	4	1	1	$4 = (1 \times 4)$

In den vier auf Spannung gekoppelten Elementen zusammen ist die Intensität $= \frac{4}{4} \times 4$, d. h. $= 4$, und ebenso der Zinkverbrauch, welcher ja proportional der Intensität ist. Dieser Zinkverbrauch ist aber, wie die Tabelle zeigt, direct proportional dem Widerstande.

Wenn man demnach wie oben die Wärme mit A bezeichnet, so ergibt sich aus den beiden Tabellen deutlich das erwähnte Resultat

$$A = I^2 W.$$

Combinirt man diese Joule'sche Formel mit der Ohm'schen Formel $I = \frac{E}{W}$, so erhält man

$$A = \frac{E^2}{W} = E I.$$

Diese Gleichung ist nicht nur richtig in Bezug auf die Vorgänge im ganzen Stromkreise, sondern gilt ebenso für jeden beliebigen Theil des Stromkreises. Nennen wir w den Widerstand eines gegebenen Theiles des Stromkreises, e die Spannungsdifferenz an den Enden desselben (die Intensität I ist in dem ganzen Stromkreise stets dieselbe), so ist die in diesem Theile des Stromkreises auftretende Wärme

$$a = w I^2 = \frac{e^2}{w} = e I.$$

Wünscht man nun zu einem bestimmten Zwecke an einer bestimmten Stelle des Stromkreises eine möglichst grosse Quantität Wärme zu erzeugen, so ergibt sich aus den beiden obigen Gleichungen, dass die dort erzeugte Wärme a sich zu A verhalten wird, wie

$\frac{w}{W}$ oder $\frac{e}{E}$, man sieht also sofort, dass man den Widerstand an der Stelle, wo die Wärme gewünscht wird, möglichst gross im Vergleich mit dem Gesamtwiderstand der Leitung machen muss, und dass, wenn man einmal einen bestimmten Widerstand für diesen Theil

sowie für den ganzen Stromkreis festgesetzt hat, und wünscht, dass $\frac{e}{E}$ constant bleibt, man, wenn sich a nicht verändern soll, A , oder was dasselbe ist, $\frac{E^2}{W}$ constant erhalten muss.

Man hat nun die folgenden Gesetze:

1. Die im ganzen Stromkreise auftretende Wärme ist gleich EI ; für eine gegebene Intensität also E proportional;

2. die an einem bestimmten Theile des Stromkreises auftretende Arbeit ist gleich eI , d.h. dieselbe ist für eine bestimmte Intensität e proportional;

3. der Nutzeffect wird ausgedrückt durch $\frac{e}{E}$;

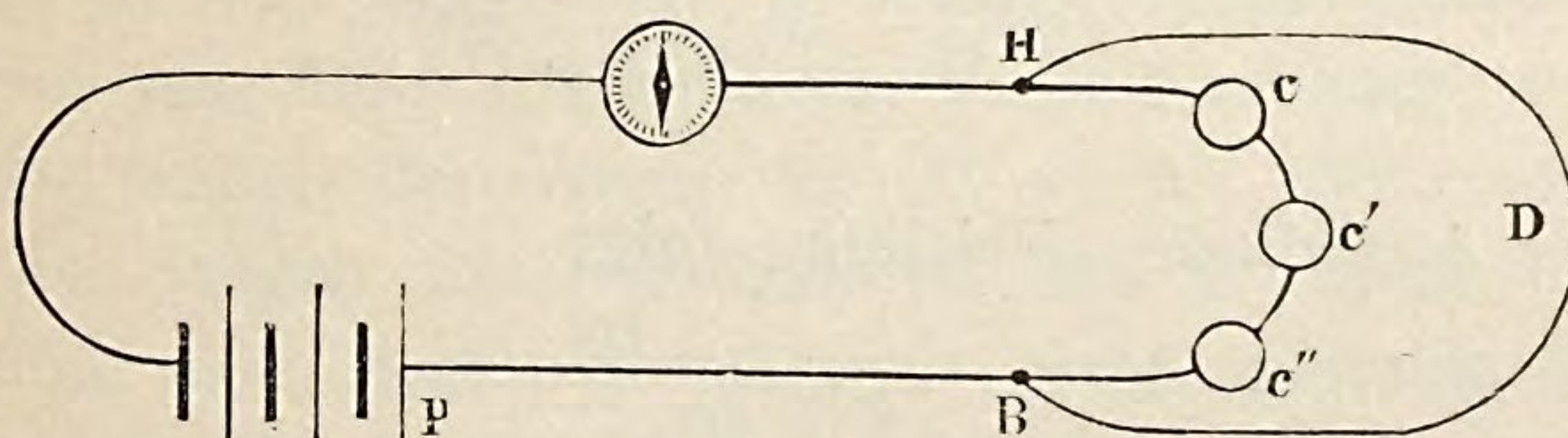
4. die zur Stromproduction aufgewendete Energie, die an einem bestimmten Theile des Stromes verwendbare Wärme und der Nutzeffect bleiben unverändert, welches immer die Länge der Leitung sein mag, wenn E und e sich proportional der Quadratwurzel des Gesamtwiderstandes verändern.

In dem bisher Gesagten handelte es sich darum, die Gesetze für die an einem bestimmten Theile des Stromkreises zu erzeugende Wärme kennen zu lernen; wir gehen nun zu den Formeln über, welche sich auf die Umwandlung des Stromes zur Erzeugung mechanischer Arbeit beziehen.

Nehmen wir zu diesem Zwecke an, dass sich in einem Stromkreise (Fig. 9) eine aus n Elementen be-

stehende Batterie befindet, deren Strom auf ein mit der Leitung verbundenes Galvanometer einwirkt, welches dazu dient, die Intensität des Stromes zu messen, während c, c', c'' verschiedene beliebige Apparate sind, in denen der elektrische Strom in verschiedene Formen von Energie umgewandelt wird, sei es in Wärme, chemische Energie oder mechanische Arbeit. In diesem Falle nehmen wir an, dass die von dem Galvanometer angegebene Intensität des Stromes $= F'$ und die in jedem

Fig. 9.



Elemente der Batterie aufgebrauchte Menge Zink Z , d. h. in den n Elementen nZ sei.

Schliesst man nun die Apparate c, c', c'' aus dem Stromkreise aus und schaltet an ihrer Stelle so viele Widerstände P ein, dass I wiederum gleich F' wird, so wird man finden, dass die elektromotorische Kraft E unverändert geblieben ist, und da nach dem Gesetze von Faraday die Quantität des per Zeiteinheit aufgebrauchten Zinkes I proportional ist, so wird dieselbe ebenfalls unverändert bleiben, und ferner, da die im Stromkreise auftretende Energie durch den Zinkverbrauch in der Batterie gemessen wird, so ist auch die im Stromkreise auftretende Energie unverändert geblieben, d. h. ob die Apparate c, c', c'' eingeschaltet

sind oder nicht, die in dem Stromkreise auftretende Energie wird sich stets durch $E I$ ausdrücken lassen. Ausserdem wird man, wenn man die Potentialdifferenz der Stellen H und B der Leitung misst, finden, dass auch diese unverändert bleibt, wenn man die Apparate c, c', c'' durch Widerstände ersetzt. Aus allem diesen folgt, dass man den activen Widerstand der eingeschalteten Apparate durch passiven Widerstand ersetzen kann, und den Werth dieses einzuschaltenden Widerstandes kann man leicht bestimmen, da

$$\frac{E - e}{W} = \frac{E}{W + x} \text{ ist.}$$

Aus dieser Gleichung folgt

$$x = \frac{e W}{E - e}$$

und wenn man e fortlässt und x einschaltet, so wird sich die Leistung dadurch nicht verändern.

Wendet man nun die gefundenen Gesetze auf solche Fälle an, in denen im Stromkreise nur zwei Formen von Energie auftreten, nämlich Wärme und mechanische Arbeit, so lässt sich der Effect im Stromkreise ausdrücken durch

$$E I = W I^2 + A',$$

in welcher Gleichung $W I^2$ nach dem Joule'schen Gesetze die im Stromkreise auftretende Wärme und A' die mechanische Arbeit bezeichnet.

Wenn demnach $A' = 0$ wird, so tritt die ganze Energie als Wärme im Stromkreise auf,

Aus der obigen Gleichung folgt aber ferner

$$W I^2 - E I + A' = 0,$$

folglich
$$I = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4 W A'}}{2 W}.$$

Wünscht man die verschiedenen Werthe für I in Bezug auf verschiedene Werthe von A' zu finden, so ergibt sich für I , wenn $A' = 0$ ist (das Ohm'sche Gesetz),

$$I = \frac{E}{W},$$

d. h. I ist ein Maximum in einem Stromkreise, in welchem von dem Strome keine Arbeit verlangt wird. Je mehr jedoch der Werth für A' wächst, desto mehr wird der Werth für I abnehmen. Doch wird diese Abnahme eine bestimmte Grenze nicht überschreiten können, das Maximum für A' wird also eintreten, wenn

$$E^2 - 4 W A' = 0,$$

d. h. wenn

$$A' = \frac{E^2}{4 W} \text{ ist.}$$

In diesem Falle wird $I_1 = \frac{E^2}{2 W} = \frac{I_0}{2}$ sein, d. h. wenn A' sein Maximum erreicht, so wird die Intensität des Stromes nur die Hälfte derjenigen sein, welche der Strom hat, wenn $A' = 0$ ist. Man kann dieses so ausdrücken, dass in jedem gegebenen Falle die Intensität I gleich der Intensität I_0 ist, von der man eine gewisse Quantität i in Abzug bringen muss, die sich nach dem Werthe von A' richtet, d. h.:

$$I = I_0 - i$$

und da $I_0 = \frac{E}{W}$ ist, so erhalten wir, wenn wir statt i $\frac{x}{W}$ setzen,

$$I = \frac{E}{W} - \frac{x}{W} = \frac{E-x}{W}.$$

Daraus erhellt, dass x , da es eine Verminderung der elektrischen Kraft des Stromes andeutet, sich wie eine elektromotorische Gegenkraft verhält, die man mit e bezeichnen kann (vgl. Glaser, Die elektrischen Maschinen. Cap. V, [Elektrotechn. Bibl. Bd. I.]).

folglich
$$I = \frac{E-e}{W}.$$

Der Werth von e lässt sich nun leicht aus der Gleichung

$$\frac{E-e}{W} = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4WL}}{2W}$$

finden und ist

$$e = \frac{E \mp \sqrt{E^2 - 4WA'}}{2}.$$

Geht man nun wieder auf die Formel

$$EI = WI^2 + A'$$

zurück, so findet man die Gleichung

$$A' = EI - WI^2,$$

in der EI die ganze im Stromkreise auftretende Energie bezeichnet. Der Nutzeffect N hängt also von dem Verhältniss zwischen A' und EI ab; es ist demnach

$$N = \frac{A'}{EI} = \frac{EI - WI^2}{EI} = i - \frac{WI}{E}.$$

Aus dieser Gleichung folgt:

$$N = i - \frac{I}{\left(\frac{E}{W}\right)}$$

und da $\frac{E}{W}$, wie wir eben gesehen haben, gleich I_0 ist, so erhält man

$$N = i - \frac{I}{I_0}.$$

Auf der anderen Seite haben wir gesehen, dass

$$I = \frac{E - e}{W}$$

ist, es folgt also:

$$N = i - \frac{\frac{E - e}{W}}{\frac{E}{W}} = \frac{e}{E}.$$

Wir sehen also, dass man auch für die Nutzarbeit die bereits oben gefundene Formel $\frac{e}{E}$ anwenden kann, und welche Form von Energie man auch am anderen Ende der Leitung erhalten will, der Nutzeffect wird sich stets durch das Verhältniss der elektromotorischen Gegenkraft e zu der elektromotorischen Kraft E bezeichnen lassen.

Man kann in Folge dessen den Werth für die wirklich geleistete Arbeit finden.

Die Gesamtarbeit ist nämlich

$$A' = EI = \frac{E(E - e)}{W}$$

und die nutzbare mechanische Arbeit

$$= NEI = eI = \frac{e(E-e)}{W}$$

die im Stromkreise als Wärme auftretende Energie

$$C = WI^2 = \frac{(E-e)^2}{W}.$$

Da nun $N = \frac{e}{E}$ ist, so ist auch

$$A' = (i-N) \frac{E^2}{W}$$

$$e = N (i-N) \frac{E^2}{W}$$

$$C = (i-N)^2 \frac{E^2}{W}.$$

Wenn man also N unverändert lassen will, und ebenso die aufgewendete Energie und die wieder erhaltene Energie unverändert bleiben soll, während man die Länge der Leitung, also den Widerstand zu ändern gedenkt, so muss man Sorge tragen, dass $\frac{E^2}{W}$ constant bleibt, d. h. dass E sich ändert, wie die Quadratwurzel von W und wenn $\frac{e}{E} = N$ constant bleiben soll, so muss sich natürlich e in denselben Verhältnissen ändern.

Wir sind also zu der wichtigen Thatsache gelangt: Die an einem beliebigen Ende des Stromkreises auftretende mechanische Energie und der Nutzeffect können unverändert erhalten werden, wie gross auch immer die Distanz sei,

auf welche man die Kraft übertragen will, wenn man nur Sorge trägt, dass die elektromotorischen Kräfte E und e sich verändern, wie das Quadrat des Gesamtwiderstandes im Stromkreise.

Theoretische Berechnung der Kraftübertragung auf grosse Entfernung.

Aus dem Vorstehenden lässt sich erkennen, dass bei Einhaltung der vorgeschriebenen Bedingungen die Grösse der Distanz absolut keinen Einfluss auf das Resultat der Kraftübertragung hat; es fragt sich jedoch nunmehr, welche Hindernisse in der Praxis die Giltigkeit der Theorie modificiren.

Der Hauptzweifel, den die meisten Fachmänner in Bezug auf die praktische Ausführbarkeit einer elektrischen Kraftübertragung auf grosse Distanzen hegten, war der, ob man zu diesem Zwecke nicht Leitungsdrähte oder Kabel von ausserordentlicher Stärke benutzen müsse, deren hohe Kosten die Kraftübertragung für die Praxis unmöglich machen würden.

Dieser Zweifel ist jedoch unberechtigt, wie Dr. William Siemens bereits im Jahre 1878 nachgewiesen hat und wie sich aus der folgenden Betrachtung ergibt.

Der innere Widerstand einer wirksamen elektrischen Maschine sollte niemals mehr als $\frac{3}{7}$ des äusseren Widerstandes betragen,*) und wollen wir der

*) Gegenüber der noch in den meisten Lehrbüchern enthaltenen Regel: »Der innere Widerstand soll gleich dem äusseren sein,«

Einfachheit wegen annehmen, dass für die Kraftübertragung der innere Widerstand $\frac{1}{3}$ des äusseren Widerstandes sei. Wenn man nun bei der Kraftübertragung wie gewöhnlich zwei ganz gleiche Maschinen durch die Leitung miteinander verbindet, so wird in diesem Falle der Widerstand einer jeden Maschine gleich 1 und der der Leitung gleich $\frac{1}{2}$ sein, denn in Bezug auf jede der beiden Maschinen bildet die Leitung sammt der anderen Maschine, d. h. $1 + \frac{1}{2}$, den äusseren Widerstand, der alsdann dreimal so gross ist, wie der innere Widerstand der Maschine.

Wenn man demnach zwei Maschinen von bestimmter Grösse anwendet und trotz der Verlängerung der Entfernung zwischen denselben den Leitungswiderstand constant, d. h. $= \frac{1}{2}$ des inneren Widerstandes einer jeden der beiden Maschinen erhalten will, so muss man die Durchschnittsfläche des Leitungsdrahtes in demselben Masse, wie die Länge des Drahtes vergrössern, d. h. wenn man z. B. gefunden hat, dass eine halbe engl. Meile Kupferdraht, welcher einen Durchmesser von 0.23 Zoll besitzt, die Hälfte des Widerstandes einer Maschine, die einen inneren Widerstand von 1 Ohm hat, repräsentirt, so muss man, wenn man einen 30 engl. Meilen langen Kupferdraht von derselben Dicke anwenden will, seinen

weist Uppenborn in seiner »Zeitschrift f. angewendete Electricitäts-Lehre« Bd. IV, Nr. 17, nach, dass elektrische Maschinen diesen idealen Nutzeffect von 50 Percent nie erreichen, und dass man, wenn irgend thunlich, bei einfachen Transformationen nicht unter 70 Percent gehen solle. Daraus ergibt sich für die obige Regel folgender Wortlaut: »Der innere Widerstand soll nie grösser als $\frac{3}{7}$ des äusseren sein.«

Durchschnitts-Flächeninhalt genau verdreissigfachen, wenn der Widerstand der Leitung im Verhältnisse zur Maschine derselbe bleiben soll; man würde also auf diese Weise das Gewicht der eine halbe Meile langen Leitung mit 60^2 , d. h. mit 3600 multipliciren müssen, und dieses enorme Gewicht würde natürlich eine Kupfermasse repräsentiren, deren Kosten die Kraftübertragung auf 30 engl. Meilen ganz unmöglich machen würden, wenn man nur je eine Maschine an jedem Ende dieser Leitung verwenden könnte. Nun unterliegen aber die Leiter der Elektricität nicht denselben Bedingungen wie eine Röhre, welche wägbare Flüssigkeiten fortführt, deren Widerstand sich im Quadrate der Geschwindigkeit des Fliessens vergrössert. Im Gegentheil, es ist ohne alle Bedeutung, wie gross die Summe von Kraft ist, die man durch die elektrische Leitung fortpflanzt; man kann denselben Leitungsdraht für die Uebertragung der Kraft von einer beliebig grossen Anzahl von Maschinen verwenden, ohne dadurch gegen das vorgeschriebene Widerstandsverhältniss zu verstossen. Die einzige Grenze für die Vermehrung der Anzahl von Maschinen wird die durch die zunehmende Stromstärke in der Leitung entstehende Wärme sein. Man hat, um die Leitungsfähigkeit eines grossen elektrischen Conductors bedeutend zu vermehren, vorgeschlagen, demselben die Form einer Röhre zu geben, durch welche kaltes Wasser fliesst; es sollte dadurch eine locale Anhäufung von Wärme vermieden werden. Uebrigens wird nach einer Berechnung von Sprague diese Wärme, selbst bei Anwendung von Primärmaschinen, die 1000 Pferde-

kräfte erzeugen, in der Leitung nicht mehr als 72 Pferdekkräfte repräsentiren, welches der von 15 Pf. Kohle per Stunde erzeugten Wärme entspricht, und vollständig ungenügend wäre, den Leitungsdraht, welcher in dem erwähnten Falle ein Gewicht von 1900 Tonnen Kupfer und eine Oberfläche von 132.000 Qu.-F. haben müsste, merklich zu erhitzen.

Eine interessante Berechnung der für die Kraftübertragung der gesamten Kraft der Niagarafälle eventuell nothwendigen Kabel-Dimensionen wurde von den amerikanischen Professoren Thomson und Houston dem Franklin-Institute vorgelegt.

In dieser Berechnung zeigen die genannten Herren, dass man eventuell die ganze Kraft der Niagarafälle vermittelst eines Kupferdrahtes von nur $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser auf eine Entfernung von 500 Meilen übertragen kann.

Wenn man z. B. zwei Maschinen durch ein Kabel verbindet, von denen die eine zur Erzeugung des elektrischen Stromes, die andere zur Wiedergewinnung der Arbeit dient, und annimmt, dass der Widerstand der beiden Maschinen A und B zusammen die Einheit und der Widerstand einer Meile des Kabels gleich 0.01 dieser Einheit ist, während die elektromotorische Kraft des Stromes, welcher durch die Leitung fließt, ebenfalls Einheit ist, so wissen wir, dass die Intensität I des Stromes

nach dem Ohm'schen Gesetze $= \frac{E}{W}$, d. h. $= \frac{1}{1.01}$ ist.

Fügt man noch eine zweite solche stromerzeugende und eine zweite stromumsetzende Maschine hinzu und verdoppelt die Kabellänge, so bleibt die Stromstärke genau

dieselbe; denn wir erhalten nun $I = \frac{1+1}{1.01+1.01} = \frac{2}{2.02}$.

Man erhält demnach eine doppelte Kraftübertragung auf eine doppelte Entfernung, ohne dass die Stromstärke und folglich die Wärme im Kabel vermehrt wird. Vermehrt man die Anzahl der Maschinen alsdann auf beiden Enden der Leitung bis auf je 1000 und vertausendfacht man auch die Länge des Kabels, so erhält man immer noch dasselbe Verhältniss und obgleich man nun eine tausendfache Kraft übertragen kann, hat sich die Stromstärke dadurch nicht verändert, wohl aber die elektromotorische Kraft.

In der Praxis wird man jedoch in vielen Fällen nicht mehrere Maschinen hintereinander schalten, sondern eine grosse Maschine anwenden mit entsprechend hoher Spannung. Ein Zahlenbeispiel wird dies am besten erläutern.

Es sei die Kraft eines Wasserfalles auf 300 Kilometer zu übertragen, welcher 7000 P. S. liefert, unter Anwendung einer Spannung von 30.000 Volt, wie gross ist die Stromstärke und wie stark ist die Leitung zu nehmen?

Eine Pf. S. liefert an den Klemmen der Vordermaschine 630 Volt-Ampère, mithin 7000 Pf. S. 4,410.000 Volt-Ampère. Bei 30.000 Volt Spannung haben wir also $\frac{4,410.000}{30.000} = 137$ Ampère. Der Spannungsverlust ist

$$d = i \cdot w = 0.016 \frac{il}{q} \text{ oder } q = 0.016 \cdot \frac{il}{d}, \text{ hierin ist}$$

$$i = 137 \text{ Ampère.}$$

$$l = 600.000 \text{ Meter.}$$

$$d = 6000 \text{ Volts oder } 20\%, \text{ also ist}$$

$$q = 0.016 \cdot \frac{137 \times 600.000}{6000} = 219 \text{ Qu.-Mm.}$$

Kupferquerschnitt, das ergibt eine runde Kupferstange von 16.7 Mm. Durchmesser. Da man eine Spannung von 30.000 Volt nur mit Hilfe des Oeltransformators erzeugen kann, so gehen noch ausser den 6000 Volt, welche die Leitung absorbiert, einige Prozent Spannung durch die Transformation verloren, wir haben also an den Klemmen der Hintermaschine nicht voll 24.000 Volt und 137 Ampère zur Verfügung, sondern etwa 5% weniger, so dass also nur 3,237.600 Watt zur Verfügung bleiben. Da nun ein guter Elektromotor 93% Nutzeffect hat, so erhalten wir rund 4200 P. S. wieder, mithin ist die wiedergewonnene Kraft 60% der von der Vordermaschine geleisteten Arbeit.

Wie wir später sehen werden, findet bei guter Isolirung durch Oelisolatoren selbst bei langen oberirdischen Leitungen kein messbarer Stromverlust statt, so dass nur der Spannungsverlust in Rechnung zu ziehen ist.

Dieses Beispiel zeigt zugleich auch, worauf es bei einer solchen Berechnung ankommt.

Eine jede elektrische Anlage, ob sie zur Erzeugung von Kraft oder Licht dient, muss so berechnet werden, dass Anlage- und Betriebskosten, sowie der Verlust in der Leitung ein Minimum werden, mit einem Wort, man muss den »wirthschaftlichen Querschnitt« der Leitung oder den wirthschaftlichen Spannungsverlust ermitteln.

Um die Verluste in der Leitung zu verringern, kann man zwar eine stärkere Leitung wählen, jedoch verursacht eine solche wieder höhere Anlagekosten, deren jährliche Amortisation und Verzinsung den Betriebskosten hinzu zu rechnen sind. Man muss also das Minimum der Summe von Anlage- und Betriebskosten per Jahr wählen.

Der Verlust in den Leitungen besteht in Erwärmung derselben. Diese so verloren gehende Wärme hat die Vordermaschine zu leisten. Um diesen Verlust nach Pf. S.-Stunden zu ermitteln, müssen wir zunächst die Betriebsstunden und die Beanspruchung der gelieferten Kraft kennen.

Die in der Leitung verlorene Energiemenge beträgt dann $T I^2 w$, worin T die Zeit, I die Stromstärke und w der Widerstand der Leitung ist.

Bei 300 Arbeitstagen im Jahr und $\frac{2}{3}$ Beanspruchung der vollen Kraft, sowie 9 stündiger Arbeitszeit ist $T = 1800$ Stunden jährlich. Der Widerstand der Leitung ist etwa 5 Ohm in unserem obigen Beispiel, die verlorene Energiemenge beträgt also

$$1800 \cdot \frac{1}{500} 137^2 \cdot 5 = 337860 \text{ Pf. S.-Stunden.}$$

Kosten nun 10 Pf. S.-Stunden etwa 1.0 Mark, so beträgt der Verlust jährlich 33.786 Mark. Es ist also hieraus klar ersichtlich, dass man nicht so blind darauf los eine Anlage projectiren kann; sondern es muss sogar sorgfältig ermittelt werden, ob auch ein rentabler Querschnitt und ein rentabler Spannungsverlust möglich ist. Sind z. B. die Anlagekosten und die Entfernungen sehr gross, so liegt die Möglichkeit vor, dass die An-

lage, zufolge dieser ungünstigen Umstände, aus pecuniären Gründen einfach unmöglich wird, obgleich sie technisch an sich durchführbar wäre. Wer sich für diese Berechnungen specieller interessirt, findet Ausführliches darüber in Strecker's Hilfsbuch für die Elektrotechnik.

Der oben angenommene Fall, dass eine bedeutende Kraft auf grosse Entfernung nur nach einer einzigen Verbrauchsstelle zu leiten ist, wird in der Praxis allerdings kaum vorkommen, sondern die Sache wird sich meistens so gestalten, dass Leitungen von verschiedener Länge nach verschiedenen Richtungen führen, oder dass von einer Hauptleitung auf verschiedene Distanzen Abzweigungen anzulegen sind. Dann gestaltet sich die Aufgabe weit günstiger, weil der Querschnitt entweder für die verschiedenen Entfernungen und Richtungen geringer zu sein braucht, oder mit der Länge abnehmen kann, so dass die Anlagekosten für die Leitung geringer werden. In jedem Falle ist festzuhalten, dass man nicht per Ampère-Strom ein oder zwei Quadrat-Millimeter nehmen darf, wie dies bei kleineren Anlagen wohl geschieht, sondern, dass diese Grösse nach obigen Gesichtspunkten rechnungsmässig ermittelt werden muss.

Die Leitungen.

Die Anlage der elektrischen Leitungen kann mit blankem Draht- oder Kupferseil auf Porzellan-Isolatoren oberirdisch oder als Kabel unterirdisch erfolgen. Neuerdings verwendet man wohl auch vierkantige Kupferstangen, welche in Canälen auf Porzellanlocken untergebracht werden.

Wenn auch oberirdische Leitungen im Allgemeinen billiger sind, so wird man doch bei Versorgung ganzer Districte mit Kraft in Zukunft wohl kaum oberirdische Leitungen anwenden, weil dieselben zahlreichen Störungen, besonders im Winter und bei Sturm, ausgesetzt sind. Jedenfalls ist es undenkbar, in grösseren bewohnten Plätzen freie Leitungen mit hoher Spannung anzulegen. Andererseits wird es kaum möglich sein, Kabel herzustellen, welche auf die Dauer bei 20- bis 30.000 Volt eine genügende Isolation aufweisen. Die für Wechselstrom construirten concentrischen Kabel von Siemens & Halske sind zwar in Rom bei circa 2000 Volt seit Jahren in ausgezeichnetem Betrieb und haben bei der Probe 5—6000 Volt gut widerstanden, doch wird hier wohl das einzig Mögliche die blanke Leitung in einem Canal bleiben.*)

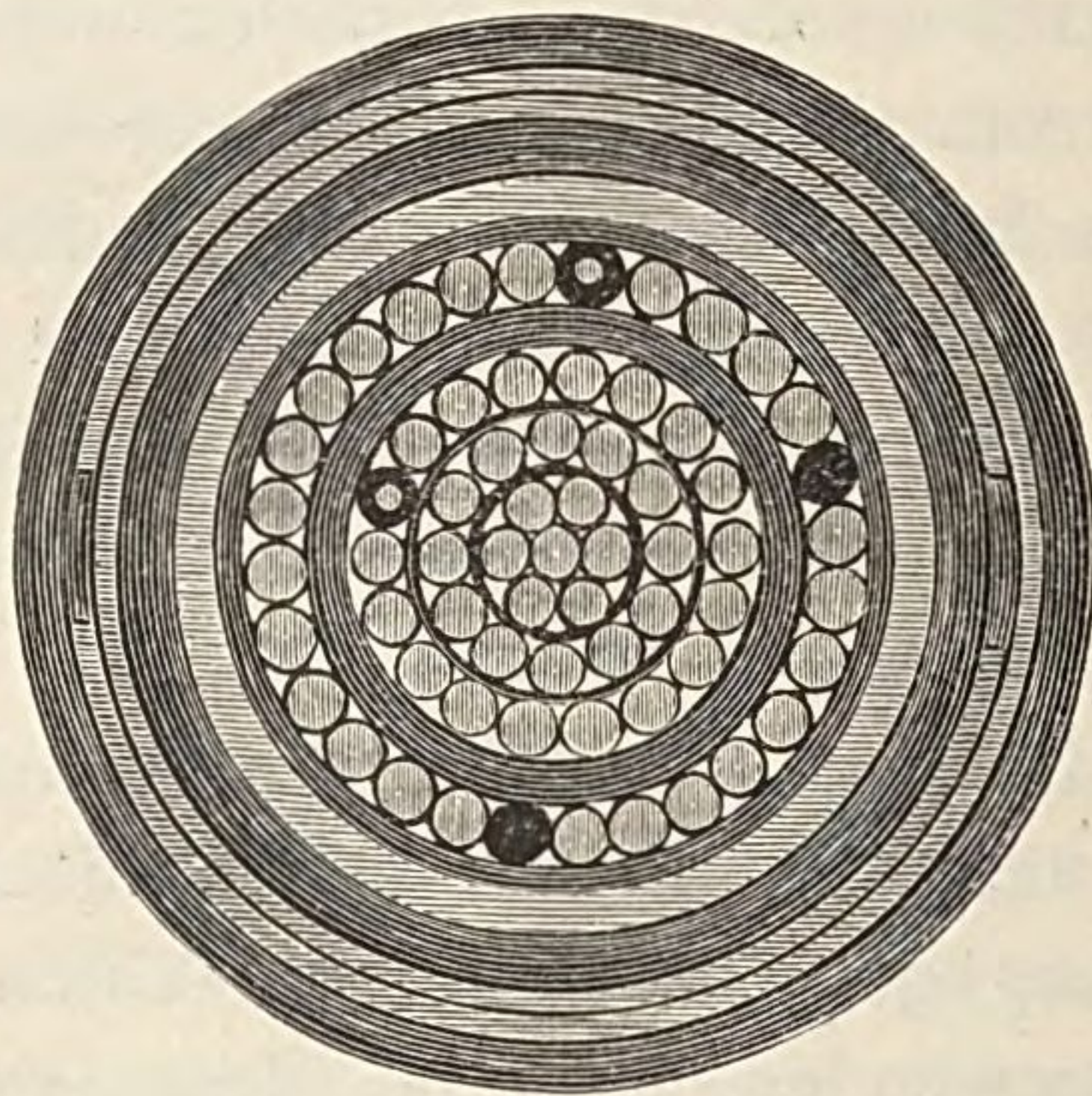
Bei den Berliner Centralen hatte man Versuche mit Canälen aus Monnier-Cement gemacht, ist aber dann dazu übergegangen, aus zwei Hälften bestehende Eisenrohre anzuwenden, weil die Monnier-Canäle nicht so widerstandsfähig sind, dass sie gelegentlich bei starker Belastung durch sehr schweres Fuhrwerk beschädigt werden.**)

*) Der Isolationswiderstand der Siemens'schen Bleikabel beträgt bei 0° unter Wasser gemessen in der Fabrik 10.000 Millionen Ohm, und nach der Verlegung etwa 1000 Millionen per Kilometer, so dass sie 30.000 Volt wohl gut aushalten, es ist jedoch die geringste Beschädigung bei dieser Spannung mit sofortiger Vernichtung der Leitung verbunden.

**) Eine ausführliche Beschreibung dieser Leitungen in Canälen findet man im »Elektrotechnischen Anzeiger« von 1889/90. Berlin, Günther & Sohn.

Figur 10 zeigt den Querschnitt eines concentrischen Doppelkabels mit Prüfdrähten, während Figur 11 den Querschnitt eines Canals mit Kupferstangen darstellt. Zur Ausgleichung der Ausdehnung der Kupferleitungen bei Temperaturschwankungen schaltet man biegsame kurze Stücke ein, wie sie Figur 12 darstellt. Für die Herstellung eines ganzen Leitungsnetzes bedarf man

Fig. 10.



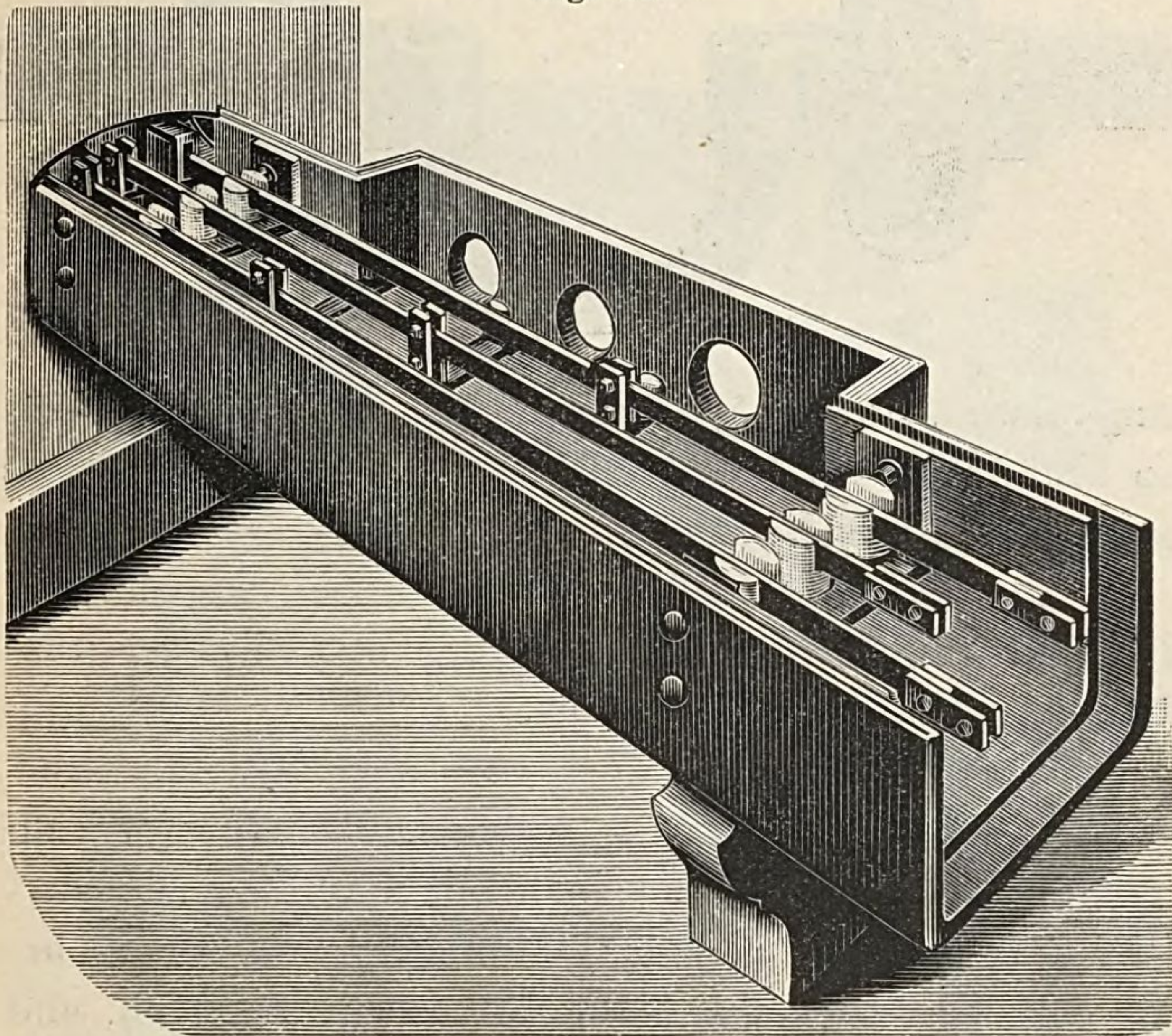
noch besonderer Kästen, nach denen Hauptspeiseleitungen führen, welche den Strom an die Vertheilungsleitungen abgeben. Die Vertheilungsleitungen führen wieder in Kästen, aus welchen Hausleitungen abgehen, und an die Hausleitungen sind mit besonders construirten Muffen oder Kästen die Hausanschlüsse bewirkt.

Verschiedene Centralen, wie z. B. die des Freihafens in Hamburg und die in Lübeck, sind von Schuckert & Co. mit einem Leitungsnetz versehen worden, das aus nur mit Band bewickelten Bleikabeln

besteht, die zu sicherem Schutze gegen Verletzungen in **U**-förmiges Walzeisen verlegt und mit einem Deckel ähnlicher Form versehen sind.

Herr F. Zöpke zu Berlin hat ein anderes ganz

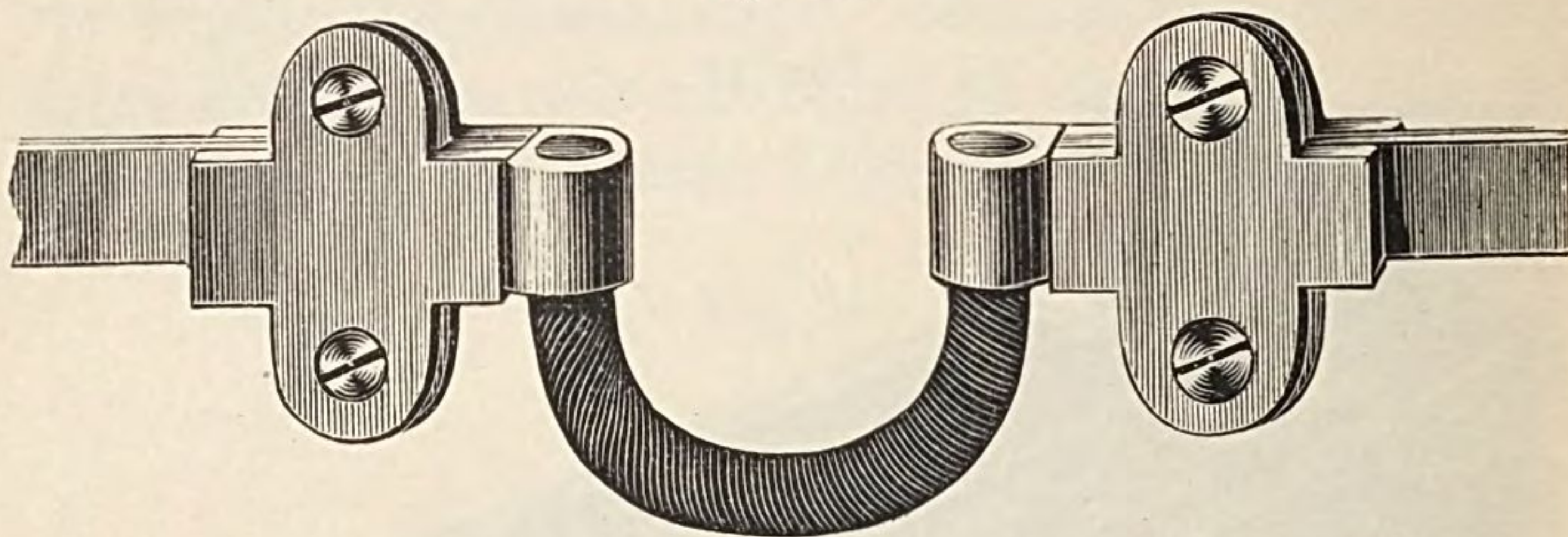
Fig. 11.



eigenthümliches Leitungssystem zum Patent angemeldet. Derselbe bildet die Canäle für die Leitungen nicht aus Cement oder Eisen, sondern aus einer bituminösen Masse von hoher Isolation. Die Canäle bestehen aus zwei Hälften, in denen sich halbrunde Rinnen befinden, so dass röhrenförmige runde Hohlräume entstehen. In der unteren Hälfte sind gewöhn-

liche Porzellan-Isolatoren befestigt, auf denen die Kupferleitungen angebracht werden. Zur Beseitigung von Feuchtigkeit und Gasen wird durch Ventilatoren Luft

Fig. 12.



eingeblassen, die an geeigneten Stellen entweicht, und so schädliche Einflüsse auf die metallenen Leitungen sowie auf die Isolirfähigkeit verhindert.

Die Stösse der einzelnen Baulängen sowohl, als auch die Fugen der Deckel werden mit einer Spiritusflamme zusammengeschmolzen,

Fig. 12 a.

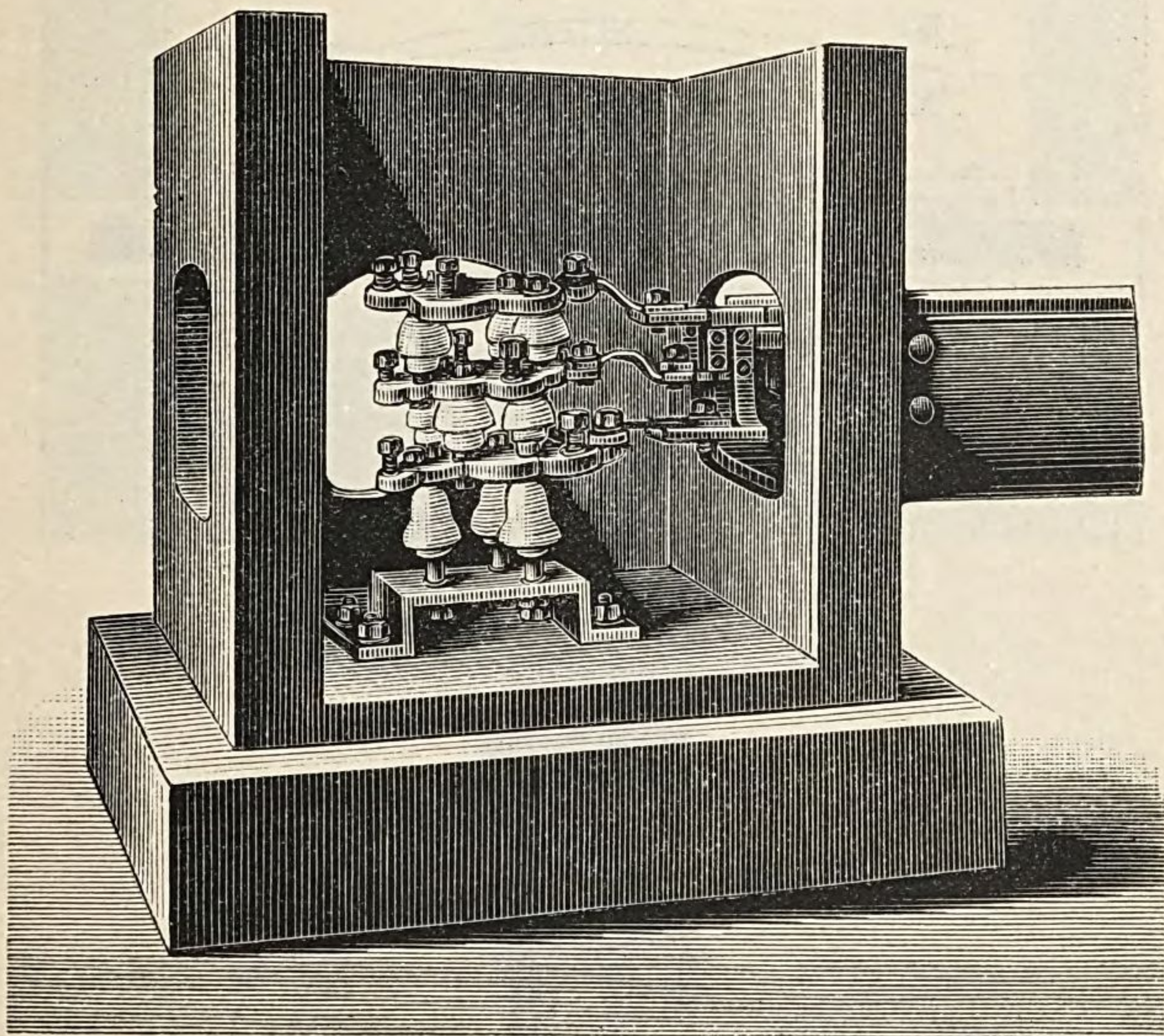


Die Vorzüge dieses Systems sind mannigfacher Art. Zunächst lässt sich das ganze Canalsystem wasserdicht herstellen, jede Leitung liegt in einem besonderen Rohr von hoher Isolation, und die Herstellung ist gegenüber den oben angeführten Systemen äusserst billig.

Zufolge des geringen Querschnittes der Canäle können mehrere übereinander gelegt werden. Abzweigungen und Aenderungen sind sehr leicht herzustellen, da sich die Masse überall durch Wärmen erweichen und beseitigen lässt. Fig. 12 a giebt eine Vorstellung dieser eigenartigen Canäle.

Welches der drei genannten Leitungssysteme für unterirdische Leitungen den Vorzug verdient, wird sich nur von Fall zu Fall je nach Umständen entscheiden lassen. Figur 13 und 14 geben eine Vorstellung von

Fig. 13.



der Einrichtung der Abzweigkästen, die man neuerdings wohl auch mit Theer füllt, um Niederschläge zu verhindern, während man die Abzweigmuffen der Hausanschlüsse mit Chatterton's Compound vollgiesst.

Oberirdische Leitungen führte man bislang ausschliesslich auf den bekannten Porzellan-Isolatoren, wie sie allgemein die Telegraphie gebraucht. Dieselben genügen jedoch für so hohe Spannungen, wie sie die

Fig. 14.

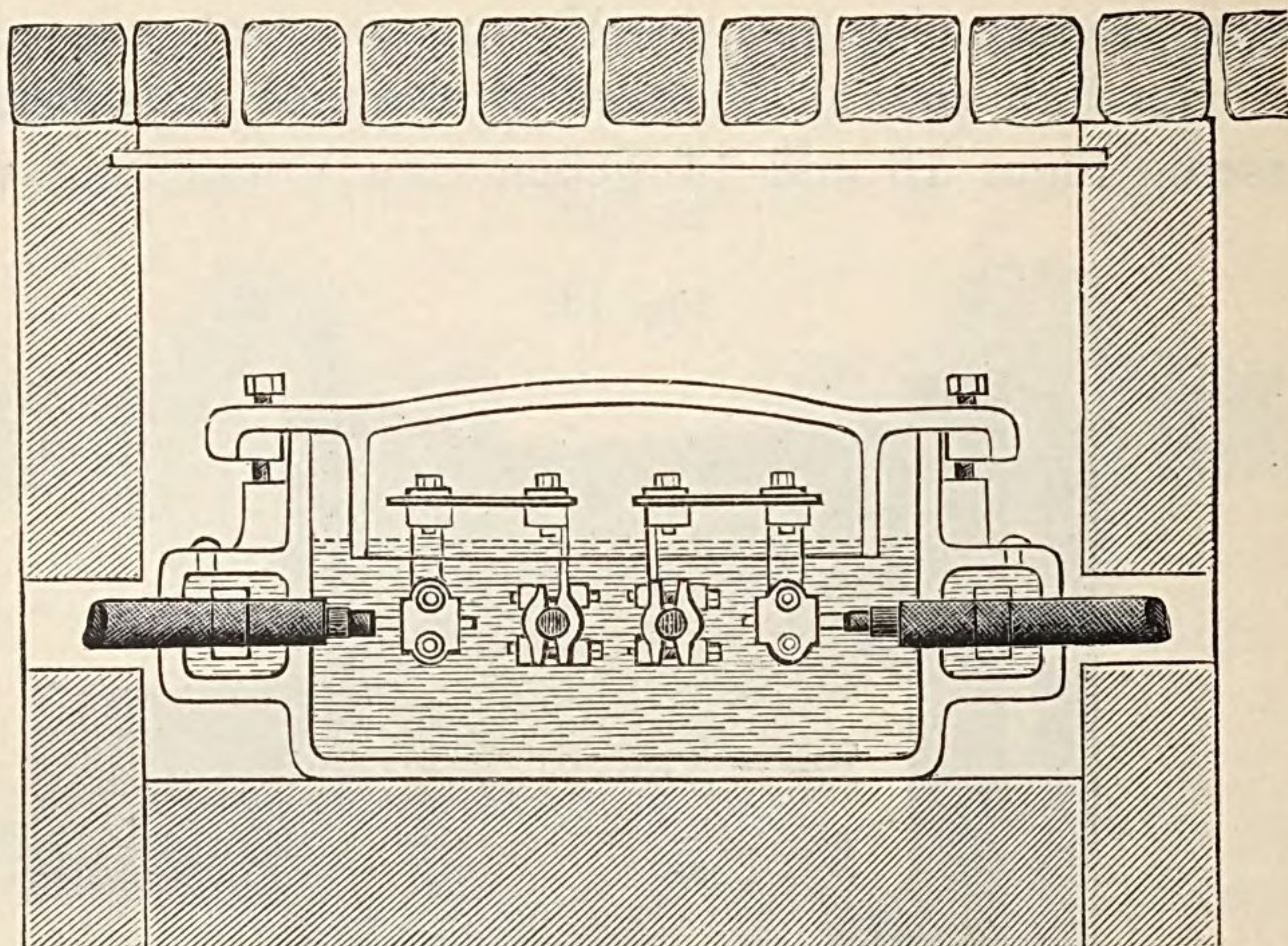
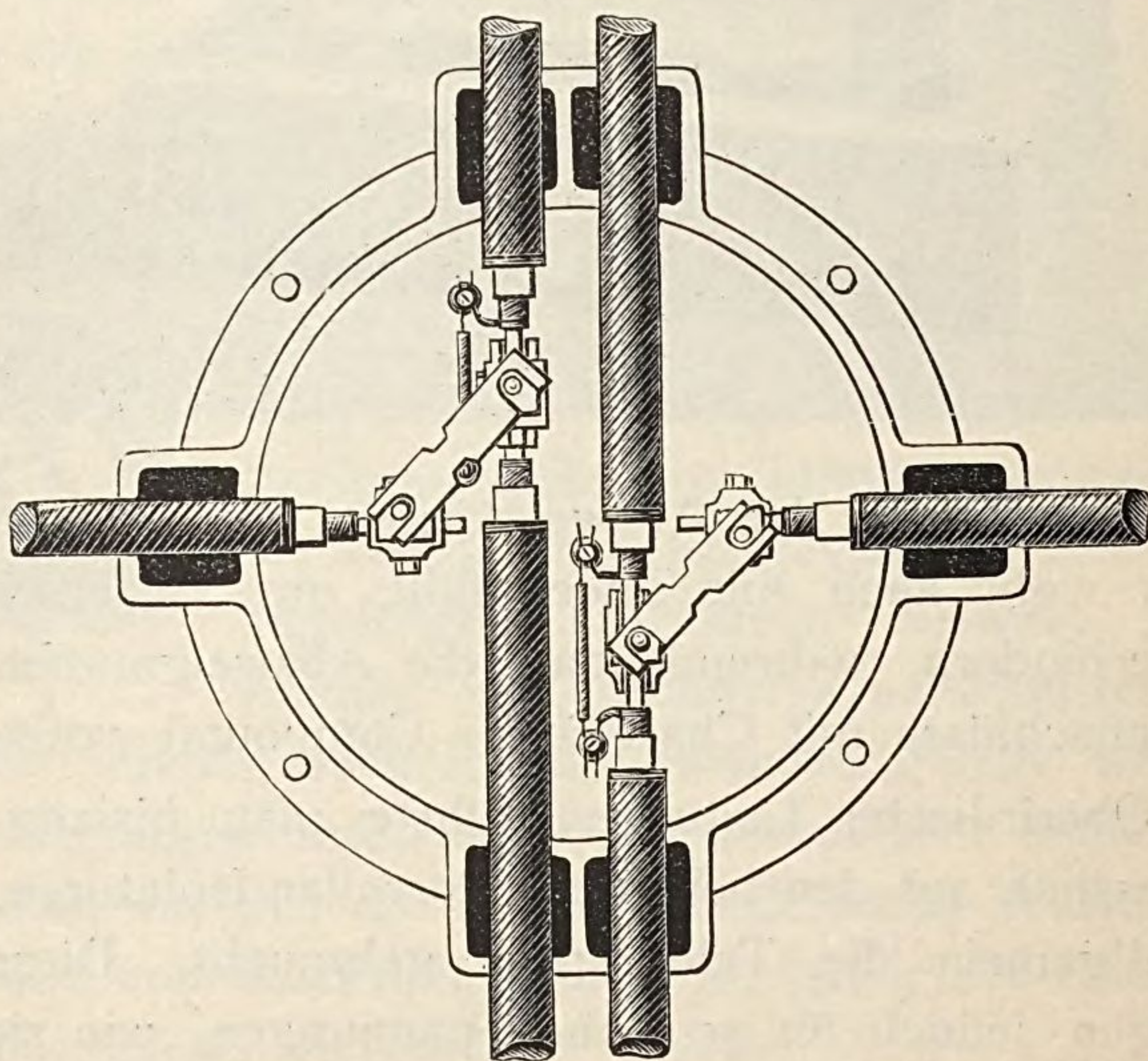
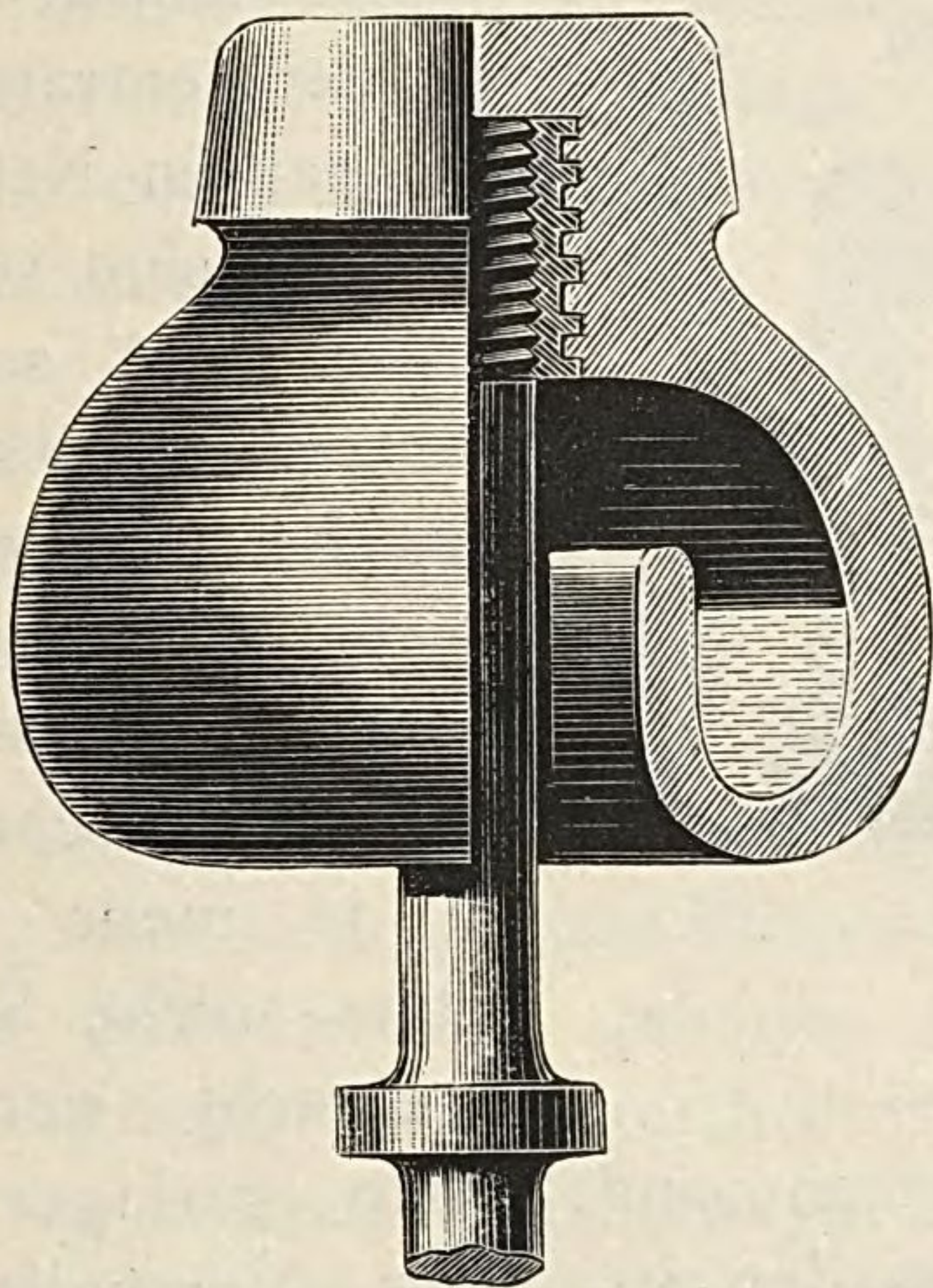


Fig. 14 a.



Kraftübertragung erfordert, nicht, hier muss man mit Hilfe von Oel die Isolation zu einem Maximum steigern. Figur 15 zeigt den Querschnitt eines solchen Isolators, wie sie z. B. zwischen Kriegsstätten und Solothurn in der Schweiz in Anwendung sind. Der untere Rand der Glocke ist umgebogen, so dass er eine enge, ring-

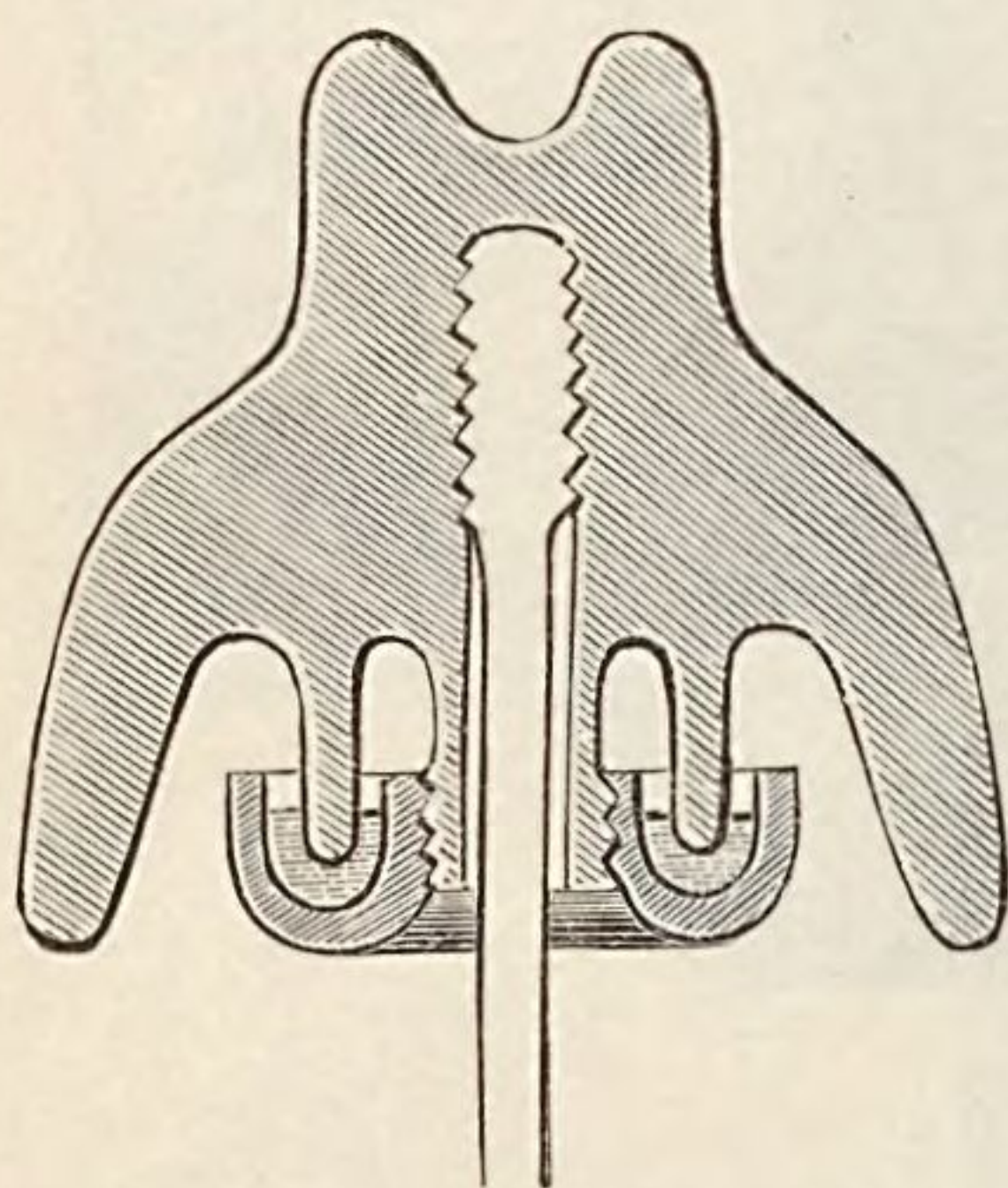
Fig. 15.



förmige Rinne bildet, welche mit säurefreiem, gut isolirendem Mineralöl gefüllt wird. Eine verbesserte Construction, die jedoch theurer ist, sah ich in Rom für die Kraftübertragung der berühmten Wasserfälle von Tivoli. Figur 16 zeigt dieselbe als eine mehrfache Glocke, deren mittlerer Rand in ein besonderes Oelgefäß eintaucht. Das Oelgefäß lässt sich abschrauben und etwas senken, so dass es leicht zu füllen und zu reinigen ist. Um zu verhüten, dass beim Reißen eines

Drahtbundes an einem Isolirkopf die Leitung sich so viel senkt, dass sie Jemand berühren könnte, ist an jeder Stange ein eiserner Bügel angebracht, der die Leitung auffängt. — Die Disposition eines Leitungsnetzes für die Versorgung eines ganzen Districtes mit Kraft, hat nach denselben Principien zu geschehen, wie bei den Leitungsnetzen der Elektrizitätswerke.

Fig. 16.



Die Hauptleitungen, welche von der Centrale ausgehen und dem ganzen Netze den Strom zuführen, sind so stark zu bemessen und so anzuordnen, dass selbst bei sehr wechselndem Betriebe oder sehr ungleicher Belastung des Netzes Spannungsdifferenzen auf ein Minimum beschränkt werden. An je mehr Punkten des Netzes solche Speiseleitungen angebracht werden und je

stärker dieselben sind, desto geringer werden die Schwankungen der Spannung. Vorzüglich hat sich in dieser Hinsicht die von Herrn W. Fritzsche eingeführte Ringschaltung bewährt. *) Was die sonstigen Details der Leitungen anbetrifft, so findet man in den Werken von Dr. M. Krieg und den oben schon genannten von J. Zacharias eingehende Aufschlüsse.

Ein grosser Unterschied macht sich allerdings im Betriebe der Kraftübertragung gegenüber der Beleuch-

*) Siehe »Centralblatt für Elektrotechnik«, Berlin, und »Electrical Review« London, 1889.

tung bemerkbar, die plötzlichen und grösseren Aenderungen der Belastung der Vordermaschinen.

Bei der Beleuchtung werden meist nur einzelne Lampen oder Gruppen derselben in und ausser Betrieb gesetzt, so dass der Kraftbedarf nur um wenig sich plötzlich ändert, während im Kraftbetriebe plötzlich 10—20 Pf. St. für einen Motor allein beansprucht werden. Aus diesem Grunde ist jedenfalls eine sehr gute und hinreichende Leitungsanlage erforderlich, damit Störungen durch Schwanken der Spannung zum unmerklichen Minimum werden.

2. Die Aufspeicherung des elektrischen Stromes.

Für diejenigen geehrten Leser, welche mit den Vorgängen bei der Aufspeicherung des elektrischen Stromes nicht bekannt sein sollten, will ich hier kurz einige Andeutungen geben.*) Die bisherigen Accumulatoren bestehen aus einer Anzahl Bleiplatten, in einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäss, und zwar enthalten die negativen fein vertheiltes metallisches Blei, die positiven braunes Bleiüberoxyd. Der Vorgang beim Laden ist nun derartig, dass der elektrische Strom Metall von den negativen Platten auflöst, diese Bleilösung zerlegt und an den positiven Platten Bleiüberoxyd ausscheidet, wobei ein Theil der Säure und

*) Die elektrotechnische Zeitschrift Berlin enthält in Nr. 6 vom 6. Februar 1891 eine sehr gründliche Arbeit der Herren Ayrton, Lamb und Smith über die chemischen Vorgänge in Accumulatoren, welche durch praktische Versuche und chemische Analyse die Vorgänge beim Laden und Entladen unzweifelhaft klarstellen und durch Curven erläutern.

des Wassers mitzerlegt wird. Der Sauerstoff der Säure und des Wassers wird an das Bleisalz gebunden, während der Wasserstoff theilweise in den Platten mechanisch festgehalten wird und theilweise bei sehr starkem Laden entweicht.

Beim Entladen bildet sich das Bleiüberoxyd wieder zurück zu Bleioxyd und zu Blei, so dass wieder Blei an den negativen Platten ausgeschieden wird und zwar geschieht dies unter gleichzeitiger Abgabe des elektrischen Stromes. Es wird also, wenn auch nicht alles, so doch ein Theil der zur Ladung erforderlich gewesen Kraft als Strom wieder gewonnen. Man rechnet bei unseren Bleiaccumulatoren auf einen Nutzeffect von 75⁰/₀, doch wird man gut thun, für dauernden Gebrauch nicht auf mehr als 50⁰/₀ sicher zu rechnen, da die Leistung derselben immer etwas zurückgeht. Giebt es doch Anlagen woselbst der Nutzeffect schliesslich sich nur auf 25⁰/₀ herausstellte. Es hilft hier kein Beschönigen und Vertuschen, das Aufspeicherungsverfahren mit den Bleiaccumulatoren kann nur als Nothbehelf betrachtet werden, der gar bald einem neuen und besseren Platz machen wird, bei dem kein Werfen der Platten und keine Verminderung der Capacität eintritt, bei dem auch das Aufspeicherungsvermögen per Kilo Elektroden-Gewicht nicht 12, sondern weit mehr Ampère-Stunden beträgt. Dies ist der Accumulator der Zukunft.

Eine grosse Hauptsache ist es, die positiven und die negativen Platten sorgfältig von einander durch Gummi oder Glas getrennt zu halten, da sonst die Platten sich schon innerhalb der Zelle entladen (Kurz-

schluss bilden) und keinen Strom nach aussen abgeben. Für Stadtbahnzwecke wählt man hierzu Gummiringe oder Gummipfropfen, für stabile Batterien Glasröhren, die zwischen den Platten aufrecht stehend befestigt werden.

Die ersten Misserfolge mit Accumulatoren wurden hauptsächlich durch nicht geeignete Behandlung der Zellen erzeugt. Seit man die hierin gemachten Fehler vermieden hat, ist Function und Haltbarkeit der Platten bedeutend besser geworden, jedoch kommen Fälle vor, in denen trotz aller Sorgfalt Mängel sich einstellen. Selbst die so viel gepriesenen Tudor-Zellen machen hievon keine Ausnahme, auch sie sind vergänglich wie alles Irdische, trotz aller Versicherungen und Garantien.

Die Aufspeicherung des elektrischen Stromes ermöglicht es also, zu Zeiten, während welchen kein Maschinenbetrieb stattfindet, Strom zur Verfügung zu haben. Man benützt die Zellen der Accumulatoren entweder in feststehenden Batterien oder in Fahrzeugen zu deren Fortbewegung.

Die Anwendung der Accumulatoren zur Kraftübertragung in feststehenden Batterien wird hauptsächlich in den Elektrizitätswerken stattfinden, während sie für die Zwecke der »Weitübertragung« überhaupt kaum Anwendung finden werden.

Den ausgedehntesten Gebrauch wird man von denselben für die Strassenbahnen in verkehrsreichen Städten machen. Es ist jedoch bis jetzt noch nicht gelungen, die Platten der Zellen derart zu construiren, dass sie absolut befriedigen. Zwar sind schon einige ganz hübsche Erfolge zu verzeichnen, eins steht jedoch

unzweifelhaft fest: die Art der Aufspeicherung und die Herstellung der Platten ist noch unvollkommen. Die Bedingungen einer vortheilhaften Aufspeicherung sind noch nicht voll und ganz erkannt. Weiter oben habe ich schon in dieser Richtung darauf hingewiesen, und weiss aus eigener Erfahrung, dass die nächste Zukunft uns ganz neue und bessere Vorkehrungen für diese Zwecke bringen wird. Die Umstände gestatten mir jedoch nicht, vorzeitig die neuesten Entdeckungen auf diesem Gebiete zu veröffentlichen.

Die Anforderungen an gute Zellen für den Betrieb von Strassenbahnen sind: Geringer Raumbedarf, möglichst geringes Gewicht, grosses Fassungsvermögen, lange Haltbarkeit und Unempfindlichkeit gegen rauhe Behandlung sowohl in mechanischer wie elektrischer Beziehung.

Ein Hauptmangel unserer bisherigen Zellen ist die geringe Dauer der positiven Platten. Wenn es auch gelungen ist, dieselben derart zu gestalten, dass die »Active Masse« weder das Gerippe zu stark ausdehnt, noch herausfällt, so sind doch alle positiven Platten in verhältnissmässig kurzer Zeit, durch die chemische Thätigkeit beim Laden und Entladen, derart in ihrem inneren Gefüge zerstört, dass sie mechanischen Angriffen durch die Erschütterungen beim Fahren schlecht widerstehen können, oder es tritt bei zu starker Entladung leicht ein Verbiegen der Platten ein. Alle Zellen wohl ohne Ausnahme büssen auch mit der Zeit an Capacität dadurch ein, dass sich von der activen Masse Theile ablösen und zu Boden fallen.

Kurz, es ist die Strassenbahn-Zelle bislang noch ein unvollkommenes Ding.

Hierzu tritt noch ein anderer Umstand, welcher selbst bei den bisher besten Zellen auch nicht zu vermeiden ist, die theure Herstellung der Platten. Ehe wir nicht Zellen besitzen, welche sich jede Strassenbahn-Gesellschaft ohne grosse Mühe und ohne grossen elektrotechnisch vorgebildeten Apparat durch ihre Angestellten selbst erzeugen kann, wird sich der Betrieb von Strassenbahnen durch Accumulatoren nicht allgemein einführen.

Die Bemühungen auf diesem Gebiete datiren bis in das Jahr 1884 zurück, wo die Herren Reckenzaun in London und Julien in Bruxelles ihre ersten Wagen öffentlich zeigten. Weitere Versuche folgten dann von Reckenzaun in Berlin *) und Herrn Huber in Hamburg. Doch alle diese Versuche wurden theils aus finanziellen, theils aus technischen Gründen in mehr oder minder kurzer Zeit wieder eingestellt.

Am längsten waren die Wagen von Julien in Bruxelles in Betrieb, etwa bis Ende 1889. In 1887 hatte Reckenzaun dann in Philadelphia N. J. hübsche Erfolge und neuerdings auch Herr Huber in Dresden.

Bis jetzt sind es eben doch nur alles Versuche gewesen, von einem vortheilhaften und regelmässigen Betrieb konnte noch nirgends die Rede sein. In Bruxelles hatte man dem Personal der Pferdebahn das Laden der Zellen anvertraut, doch erwiesen sich die-

*) S. Elektr. Zeitschrift Berlin, Jan. 1886 Vortrag von J. Zacharias.

selben eben für eine solche ungeübte Behandlung als nicht widerstandsfähig genug.

Reckenzaun's Strassenbahnzellen z. B. sind 18×18 Cm. bei 21.5 Cm. gross, haben 23 Platten und wiegen mit Säure 32.5 Kg. Sie geben 2 Volt Spannung und 220 Ampère-Stunden Entladung bei durchschnittlich 19.5 Ampère Entladestrom. Die durchschnittliche Entladung beim Fahren ist jedoch 35 Ampère, so dass sie höchstens 5 Stunden lang Strom liefern, da man jedoch für eventuelle Störungen Reserve haben muss, so kann man auf nicht mehr als 4 Stunden Stromentnahme rechnen. Da nun circa 65 solche Zellen für einen sonst zweispännigen Wagen erforderlich sind, so ist für eine verhältnissmässig kurze Leistung eine bedeutende Last mitzuführen, die sich auf rund 2000 Kg. beläuft. In diesen beiden Umständen liegt ein bedeutendes Hinderniss für die Anwendung der Accumulatoren zum Strassenbahnbetriebe. Hierzu kommt noch eine verhältnissmässig kurze Haltbarkeit der positiven Platten, so dass eine allgemeine Verwendung für gedachten Zweck nicht eher möglich erscheint, bis man das Gewicht ganz bedeutend ermässigt und die Leistung dabei erhöht hat. *)

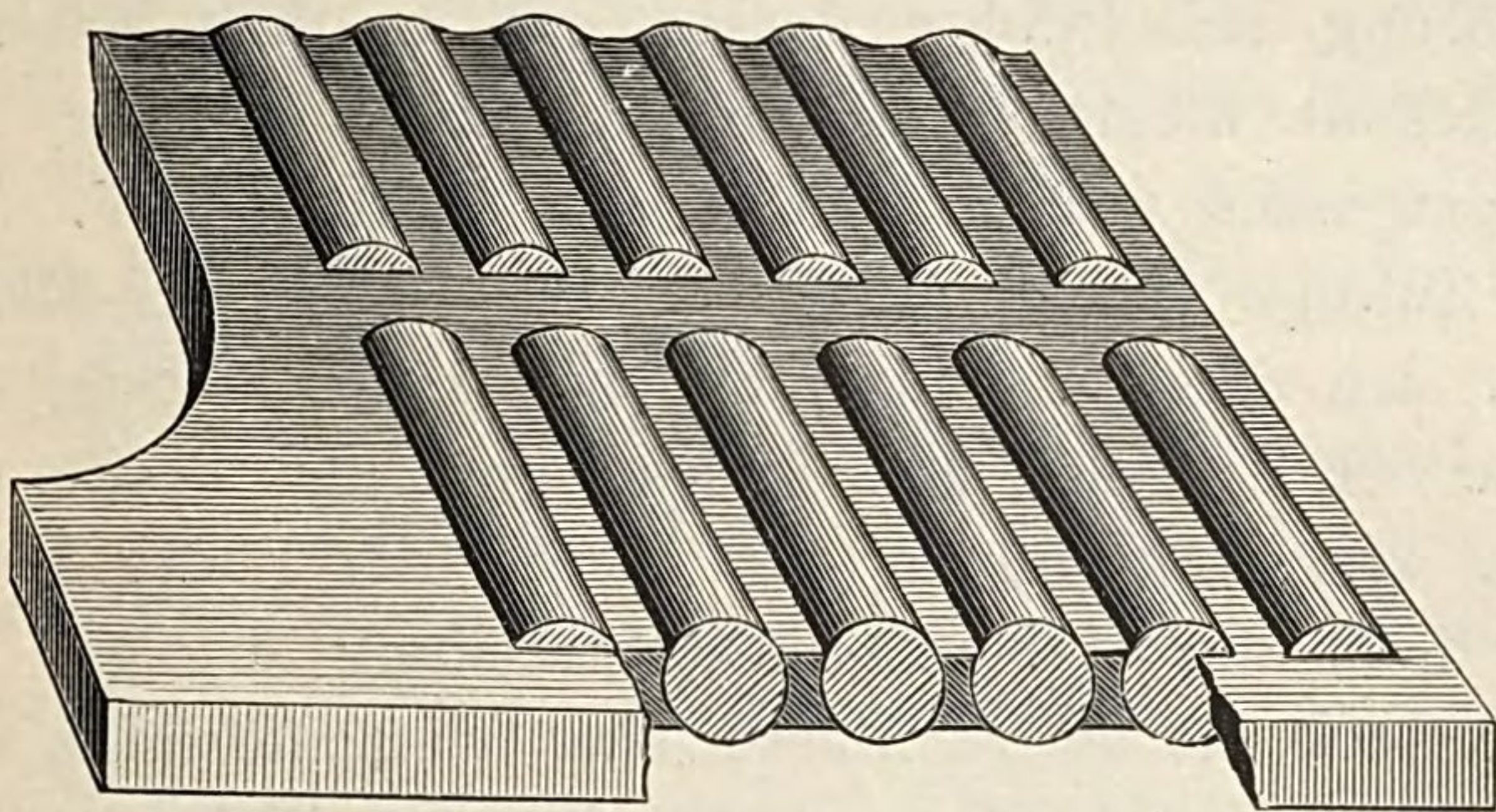
Die nach dem System Tudor hergestellten Zellen sind zwar etwas dauerhafter als viele andere, jedoch so schwer, dass sie für Strassenbahnen gar nicht in Frage kommen können.

Als leichteste und dauerhafteste haben sich bis jetzt die Reckenzaun'schen erwiesen. Diese Platten

*) S. auch Electricity on Tramways by A. Reckenzaun, London.

sind 186 Mm. hoch, 123 Mm. breit, das Bleigerippe ist 3 Mm., die active Masse 4.5 Mm. stark. Jede Platte wiegt mit den Verbindungslappen 0.77 Kg. und giebt circa 9 Ampèrestunden. Sie enthält 4 Reihen von kleinen Cylindern aus activer Masse von 30 Mm. Länge, jede Reihe hat 29 solcher Cylinder. Fig. 17 gibt einen Querschnitt der Anordnung der activen Masse in diesen Platten.

Fig. 17.



Bis vor wenig Jahren bestanden allgemein die Accumulatorenplatten aus einfachen Gittern, welche man mit Bleimennige ausfüllte. *) Dieselben haben jedoch mehrfache Mängel. Die active Masse, welche in kleinen quadratischen Stücken angeordnet ist, dehnt sich aus, wird locker und fällt heraus oder die Platten krümmen sich, sobald durch falsche Behandlung (zu starkes Entladen) Bleisulfat auf den Flächen entsteht, weil dann eine ungleiche Thätigkeit der Masse, also auch ungleiche Ausdehnung eintritt. Diese Uebelstände hat

*) S. Uppenborn's Kalender 1889, S. 209—214. Näheres über Herstellung der Accumulatoren von J. Zacharias.

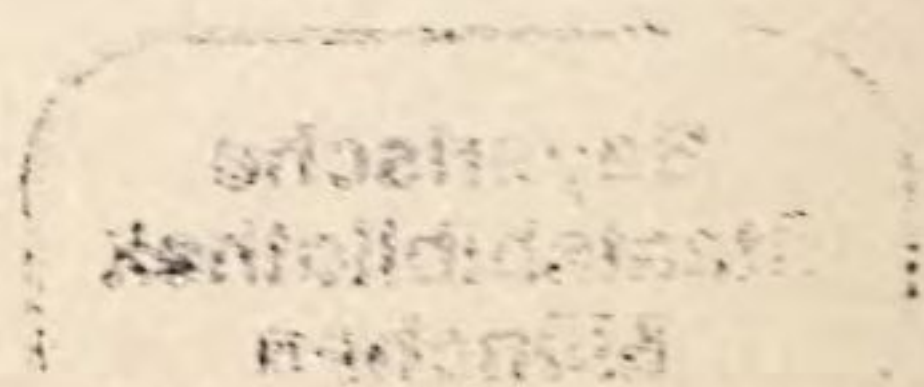
zwar Herr Correns in Berlin mit seinen ingenösen Doppelgittern bedeutend herabgemindert, jedoch leider auf Kosten des erwünschten geringen Gewichts.

Herr Reckenzaun hat in einer anderen Richtung Versuche angestellt und mit Erfolg die oben beschriebene Platte erprobt. Er fand nämlich bei seinen Versuchen, dass die active Masse, zufolge ihrer quadratischen Form, sich allseitig gleichmässig ausdehnt und dies ein Hauptgrund der so frühzeitig eintretenden Zerstörung sei. Infolge dessen gab er dem Material die Gestalt kleiner länglicher Cylinder, welche mit Blei umgossen werden und so eine Platte bilden.

Zufolge der länglichen Gestalt der activen Masse dehnt sich dieselbe hauptsächlich nur in Richtung der Achse der Cylinder, also in Richtung der Breite der Platte aus, während in der Länge der Platte keine oder doch nur eine minimale Streckung erfolgt. Da ferner auch die active Masse eine walzenförmige Gestalt hat, so wird sie vom umgebenden Blei gut festgehalten und bleibt in innigem Contacte mit demselben. Das die Cylinder umgebende Metall ist reines, weiches Blei, das überall gleichmässig dick ist, so dass es der Verlängerung der Cylinder wenig Widerstand bietet. *)

Verfasser sah selbst in London Platten, die längere Zeit schon im Gebrauch waren, in bestem Zustande. Sie waren trotz anhaltenden und angestregten Gebrauchs völlig gerade.

*) S. The Electrician 14. December 1888 London, sowie Electrical Review London 1888—1889, über Accumulatorenbehandlung von A. Reckenzaun.



Gerade für Stadtbahnzwecke sind nicht allein geringes Gewicht und grosse Capacität der Accumulatoren nothwendig, sondern es ist auch schnelles Laden erforderlich, das heisst also möglichst hohe Stromstärke im Verhältniss zur Capacität, eine Forderung, die jedoch bisher schwer erfüllbar war, weil die Platten unter Anwendung grosser Stromstärken beim Laden und Entladen leicht leiden. Herr J. L. Huber in Hamburg durchlocht zu diesem Zwecke die active Masse, erhöht damit die Thätigkeit derselben, somit die Capacität und das Verhältniss des Lade- und Entladestromes zu letzterer. Seine Accumulatoren waren 9 Monate lang auf der Strecke Barmbeck-Hamburg mit Erfolg in Gebrauch.

Die meisten Versuche, welche auf unseren Continent von 1884 bis 1889 mit Accumulatoren auf Strassenbahnen stattgefunden haben in London, Berlin, Bruxelles und Hamburg, sind im allgemeinen, weniger zufolge schlechter technischer Einrichtungen, sondern mehr an finanziellen Schwierigkeiten oder mangelhafter Leitung, hauptsächlich aber zufolge des geringen Entgegenkommens der Strassenbahn-Gesellschaften gescheitert. Auch die Organe der Verkehrspolizei machten viele Schwierigkeiten in Bezug auf Scheuwerden der Pferde, Einrichtung der Bremsen und der Sicherheitsvorkehrungen gegen Ueberfahren von Personen.

Doch dieser kleinliche Widerstand der Pferdebahn-Gesellschaften etc. kann den Fortschritt der elektrischen Strassenbahnen nicht aufhalten. Es geht damit wie mit den Fortschritten des elektrischen Lichtes, dessen grösster Gegner die Gasleute überall waren und

vielfach noch sind. Die Verbesserungen an Accumulatoren, welche ja bislang die grössten Schwierigkeiten machten, schreiten unaufhaltsam vorwärts, die Gesetze der Aufspeicherung des elektrischen Stromes werden immer besser erkannt und bekannt, und die Elektrotechnik ist unermüdlich in Versuchen, sodass in Kurzem die Rückschrittler durch die Thatsachen entwaffnet sein werden.

Es sei gestattet, bei dieser Gelegenheit einige Zahlen für die Richtigkeit obiger Behauptungen im allgemeinen zu geben.

Nach einem Vortrage des Mr. J. P. Bailey im Chicago Electric-Club bestehen z. Z. in den Vereinigten Staaten Nord-Amerikas und Canada:

Strassenbahnen überhaupt	957	davon
sind mit Pferdebetrieb . . .	589	
mit Drahtseilbetrieb . . .	49	
» Dampfbetrieb . . .	73	
» elektrischem Betrieb .	246	
Geleislänge der elektrischen Betriebs-Strecken	3526	Km.
dazu Elektromotorwagen	3850	
mit Stück Elektromotoren	6400	
Zur Erzeugung des Stromes dienen Dampfmaschinen mit 94.880 Pf. S.		

In Chicago hat sich ausserdem noch eine Gesellschaft mit 48 Millionen Mark Capital gebildet, zur Errichtung und zum Betriebe einer elektrischen Hochbahn. Wo bleibt da der so kleinliche europäische Unternehmungsgeist, England nicht ausgeschlossen?

Nicht allein, dass die Entwicklung solcher Neuerungen an der Zaghaftigkeit der Capitalisten scheitert, es kommen noch mancherlei Sonderinteressen, sowohl der Communen als auch der Strassenbahn-Gesellschaften hindernd dazu. Der Pferdebahnbetrieb, besonders in Grossstädten, wirft ja so schöne Dividen- den ab und die Contracte laufen nicht mehr sehr lange, wer wird sich also die Mühe geben, etwas Neues einzuführen, das viel Geld und Arbeit kostet, wodurch auch der Tarif eventuell gedrückt würde.

Dass in Amerika neue Erfindungen leichter Eingang finden als in der alten Welt, hängt nicht nur mit der grösseren Unternehmungslust zusammen, sondern dergleichen wird auch durch die im allgemeinen geringeren Ansprüche erleichtert. Wenn auch mitunter kleine Störungen im elektrischen Betriebe vorkommen, das thut nichts, dafür fährt man sonst umso schneller mit mehr Wagen in gedrängter Reihe hintereinander und mit mehr Personen. Bei uns zu Lande ist man in dieser Beziehung nicht so liberal, da soll alles gleich fix und fertig auf die Welt kommen, und bis auf den Millimeter stimmen. Ja, wo bleibt dann aber die Möglichkeit Neuerungen zu erproben und Erfahrungen zu sammeln, um Erfindungen zu verbessern? Nun, und wie viele sonst sehr gescheute Leute, die sonst theoretisch wohl auch gut beschlagen sind, massen sich in rein technischen Dingen ein unfehlbares Urtheil an über Dinge, von denen sie im Grunde doch gar nichts verstehen. Sie urtheilen mitunter auch leichtfertig, ohne gründlich zu prüfen und zu besichtigen, ohne den Betrieb kennen zu lernen. Oder — sie

schreiben die Prospective der Fabrikanten ab — und nennen das dann einen Reisebericht, z. B. einer Studienreise nach dem Auslande. Wahrheitsgetreue, rücksichtslos objective Berichte von gründlich gebildeten Technikern allein sollten massgebend sein, nicht das Ansehen der Person.

Nicht nur zur Fortbewegung von Landfahrzeugen, sondern vielmehr noch von Wasserfahrzeugen sind die Accumulatoren geeignet. Auch hier war es wieder Herr Reckenzaun, welcher grössere Boote in grösserer Zahl zunächst mit elektrischem Betrieb eingerichtet hat. Bekannt ist die Fahrt seines Bootes Volta am 13. September 1886 über den Canal von Dover nach Calais und zurück. *)

Gerade bei kleinen Booten hat der Accumulatorenbetrieb gegen Dampfbetrieb grosse Vorzüge. Einerseits haben wir Rauch, Russ, Hitze bei Dampfmaschinen, andererseits keine Belästigung irgend welcher Art und fast geräuschlosen Gang der Elektromotoren.

3. Die Transformirung des elektrischen Stromes.

Es ist eine durch den Rhumkorf'schen Inductor bekannte Erscheinung, dass Ströme von geringer Spannung und grösserer Stromstärke, welche in wenigen starken Drahtwindungen einer Spule circuliren und in rascher Folge unterbrochen werden, Inductionsströme

*) Einen ausführlichen Bericht hierüber enthält eine kleine Schrift von Stephens, Smith & Co., Millwall London in: Electricity as a Motive Power, with espical Reference to its adaptability for Marine Perpulsion,

hoher Spannung in ihnen parallel gewickelten zahlreichen, feinen Drahtwindungen erzeugen. Da jedoch die Umformung des Gleichstromes in dieser Art im Grossen, auch unter Anwendung von Condensatoren, gewisse Schwierigkeiten bietet, so hat man zu dem, für diese Zwecke ausgezeichneten, Wechselstrom gegriffen. Die Erzeugung des hochgespannten Wechselstromes ist ausserdem nicht mit so grossen Schwierigkeiten verbunden, wie die des hochgespannten Gleichstromes, weil sich die einzelnen Spulen einer Wechselstrom-Maschine viel leichter isoliren lassen, als die Wickelung eines Ankers der Gleichstrom-Maschine, wovon allenfalls die Brush-Dynamo eine Ausnahme macht.

Die Gründe, aus welchen man überhaupt zum hochgespannten Strom übergegangen ist, sind rein pecuniären Ursprungs. Alle Betriebe für Uebertragung des elektrischen Stromes von Ort zu Ort, ob sie nun für Kraft- oder Licht-Erzeugung gebraucht werden, arbeiten mit constanter Spannung, und passen nur die Stromstärke dem jeweiligen Kraftbedarf an.

Es folgt hieraus und aus dem Ohm'schen Gesetze dass je grösser die Entfernung und die Kraft (also die dazu nöthige Stromstärke) ist, auf welche die Elektrizität fortgeführt werden soll, umso grösser muss der Querschnitt der Leitung sein. Bei Centralanlagen oder Weitübertragung würden also die Kosten, des an sich schon theuren kupfernen Leiters ins Ungeheure wachsen.

Die von dem elektrischen Strome geleistete Arbeit setzt sich zusammen, aus dem Product von Spannung und Stromstärke, das heisst, die Leistung bleibt die gleiche, wenn das Product das gleiche bleibt, man kann

also unter dieser Rücksicht Stromstärke und Spannung verändern.

Wir wissen nun ferner, dass der Querschnitt einer Leitung mit der Stromstärke wächst. Um also den Querschnitt, und somit auch die Kosten, der Leitung zu verringern, muss man hohe Spannungen wählen.

In welchem Verhältniss die Leitungskosten bei verschiedener Spannung und gleicher Kraftleistung zu einander stehen, erläutert sehr anschaulich die graphische Darstellung in Fig. 18.*) Der Berechnung ist eine Leistung von 5000 Glühlampen zu Grunde gelegt. Die Ziffern der Ordinate geben den Preis der Leitung in Oest. Gulden, die Abscissen die Entfernung, resp. den Radius einer mit Licht zu versorgenden Fläche in Kilometern. Die Ueberlegenheit hochgespannter Ströme über den niedrig gespannten Gleichstrom, von einer gewissen Entfernung ab, ist hier klar ersichtlich.

Man hat zwar dem Wechselstromsystem vorgeworfen, dass das Bogenlicht mit demselben weniger günstig sei, weil es weniger nach unten wirkt, dass man den Strom nicht aufspeichern und als wesentlich, dass man Elektromotoren nicht vortheilhaft und praktisch mit betreiben könne.

Alle diese Einwände haben jedoch, trotz der ihm nachgesagten Gefährlichkeit, die Ausbreitung des Wechselstromes nicht hindern können, und er hat sich für Versorgung sehr ausgedehnter Complexe mit Kraft und Licht als einzig brauchbar erwiesen.

*) Nach dem Werke der Herrn Ganz & Co. in Budapest: Die Vertheilung der Elektrizität nach dem System Zipernowsky, Déri, Blathy, 1889.

Man hat hier bei uns in Europa gar keine Vorstellung von der Ausbreitung des Wechselstromes in Amerika. Aus zuverlässigen Daten ist zu entnehmen dass allein das System Westinghouse Ende 1888, 68 Städte der Vereinigten Staaten Nord-Amerikas mit Wechselstrom beleuchtete. Unter diesen waren zwar auch einige Anlagen mit nur 650 Lampen, jedoch die meisten Orte hatten 2000—12.000 Lampen in Betrieb.

Zuerst führte Edison sein Zweileitersystem mit 100 Volt bis zu einer Entfernung von 600 Meter aus. Da jedoch in der Praxis nur ein Unterschied und ein Schwanken zwischen verschiedenen Punkten von 2 — 3 Volt zulässig sich erwies, schuf man mit Hilfe besonderer Hauptspeiseleitungen, besondere Vertheilungscentren und erweiterte dadurch das Versorgungsgebiet, indem man in den Hauptleitungen einen grösseren Spannungsabfall zuließ und die Schwankungen durch einen Regulirwiderstand ausglich. Es durften daher diese Hauptleitungen schwächer sein.

Auf diese Weise erreichte man einen Vertheilungsradius von 800 Metern, die Kosten der Leitungsanlage wurden jedoch so gross, dass man über diese Entfernung nicht hinauszugehen vermochte, wenn nicht der Wirkungsgrad der gesamten Anlage unter 60% sinken sollte.

Erst mit dem Dreileitersystem wurde es möglich, bei 200 Volt Spannung den Radius des Versorgungsgebietes auf das anderthalbfache zu erhöhen. Man hat auch in einzelnen Fällen 400 Volt mit dem Fünfleitersystem angewendet, doch macht die Regulirung hierbei einige Schwierigkeiten.

Es blieb also nichts anderes übrig als zum hochgespannten Wechselstrom und den Transformatoren zu greifen.

Zunächst versuchten Gaulard und Gibbs die Transformatoren hintereinander zu schalten, die Regulirung derselben machte jedoch so viel Schwierigkeiten, dass man zur Parallelschaltung derselben alsbald überging.

Es kam also darauf an, Inductionsapparate zu schaffen, welche bei gleichbleibender Primärspannung und bei veränderlicher Belastung eine constante Secundärspannung liefern. Apparate mit diesen Eigenschaften nennt man Transformatoren. Sie beruhen, wie schon gesagt, auf dem gleichen Princip wie die Inductionsspulen des Rhumkorschen Inductors.

Man hat diesen Transformatoren die verschiedenste Gestalt gegeben, es hat sich jedoch eine geschlossene, ringförmige, oder quadratische Form des Eisenkernes als nothwendig und vortheilhaft erwiesen. Der Eisenkern ist aus Eisendraht oder Eisenblech gebildet, an seiner ganzen Oberfläche mit starken isolirten Kupferdrähten für den primären Kern, und mit schwachen isolirten Kupferdrähten in zahlreichen Windungen für den secundären Strom möglichst gleichmässig und symmetrisch bewickelt.

Die Herrn Déri, Bláthy und Zipernowski, der Firma Ganz & Co. in Budapest, bauen ausschliesslich den runden, ringförmigen Transformator, wie er in Fig. 22 abgebildet ist, während Gisbert Kapp (Fig. 23 a) in London, Ferranti u. A. die viereckige Form bevorzugen. Die ringförmigen Transformatoren haben gewöhnlich nur einen Eisenkern, ohne Eisenumhüllung

der Kupferdrahtwindungen, während bei den viereckigen Typen die Wickelung innen und aussen von Eisen fest umgeben ist, so dass der magnetische Kreis durch grosse, gut vertheilte Eisenmassen, die gleichsam einen Mantel bilden, geschlossen ist. *) Die Wirksamkeit beider Typen wird nicht wesentlich von einander abweichen, wohl aber die Herstellungskosten.

Nebenstehende Tabelle giebt eine Uebersicht über

Fig. 19.

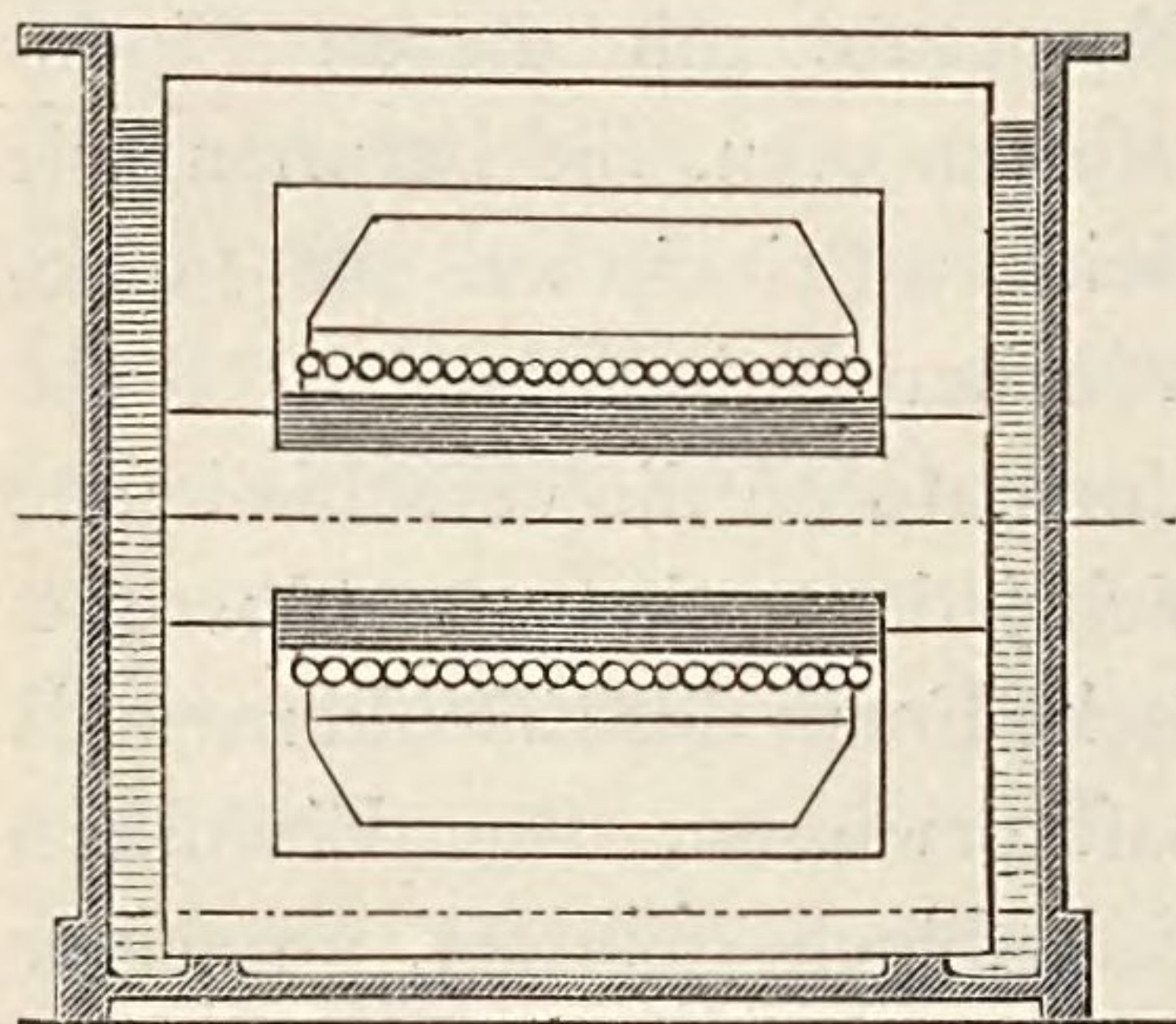
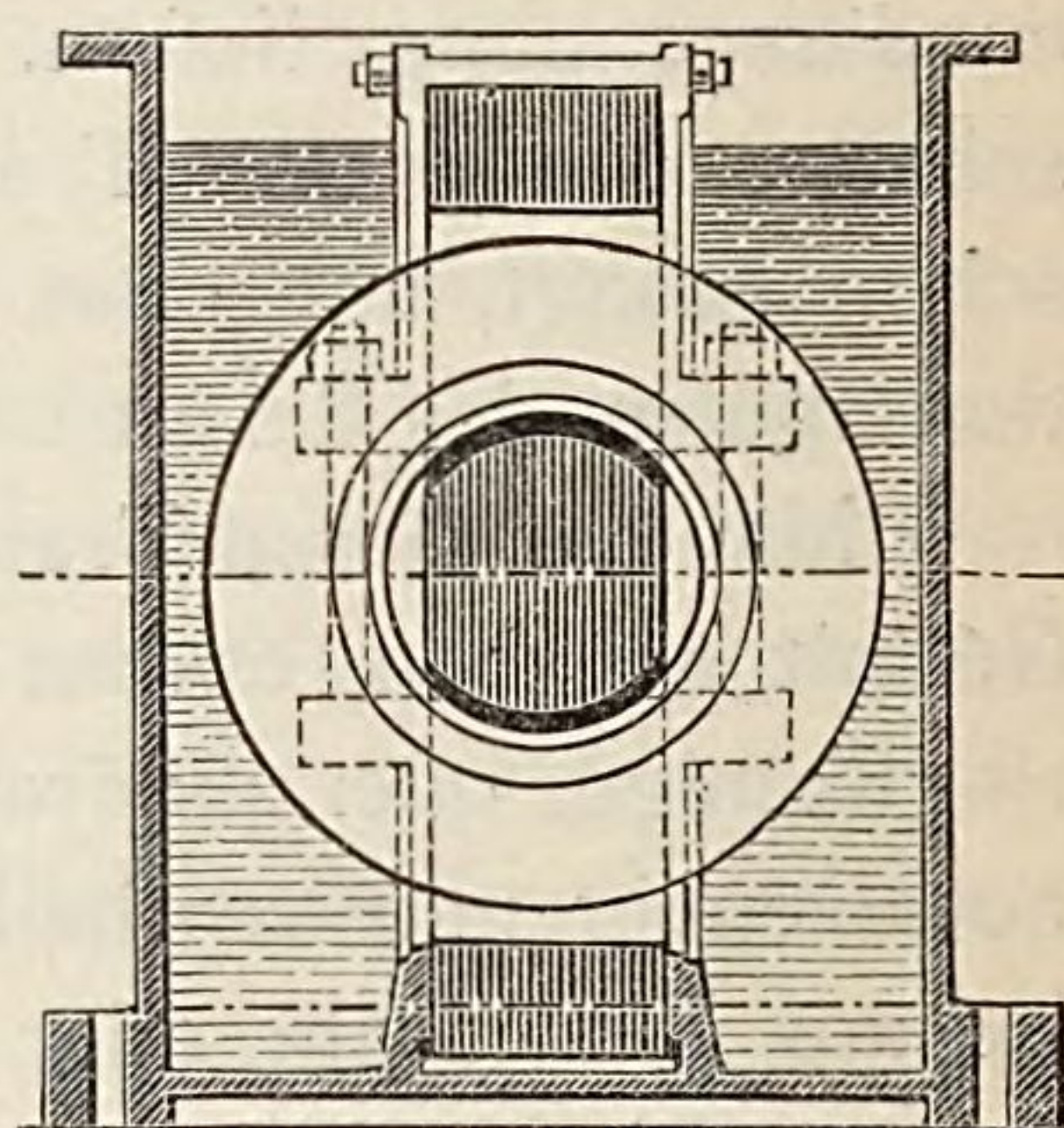


Fig. 20.



die Leistung der Transformatoren von Kapp und Snell.

Während die ersten Wechselstrom-Maschinen nur 75% Nutzeffect hatten, geben sie jetzt einen gleichen wie gute Dynamos, also etwa 93%; hiervon absorbiren die Transformatoren nur ca. 2—3%, so dass dieses System wirthschaftlich eines der vortheilhaftesten ist.

*) Eine ausführliche Abhandlung über Berechnung und Bau der Transformatoren findet man in: »Handbuch der Elektrotechnik« von Dr. E. Kittler, S. 237—325.

Kapp- und Snell-Transformatoren.*)

Primär	Secundär		Calori- meter	Watts aus Secundär	Watts an Primär abgegeben		Wirkungsgrad		
	a Volt	b Am- père	d Volt	f Am- père	g Watts Erwär- mung	h = $\sqrt{d^2 \times f_2}$	$g + h$ wirklich	$\sqrt{a^2 \times b^2}$	$\frac{100 h}{g \times h}$ wirklich
184.3	0.8	94.5	0	53.18	0	53.18	147.2	98.5	0
184.6	2.3	96.8	3.3	79.05	318.7	397.8	424.5	446.7	71.4
187.6	3.32	97.7	5.09	82.63	495.6	577.9	623.7	653.2	75.9
186.1	8.31	94.3	14.87	55.6	1.416	1.472	1.546	1.727	82
185.6	16.14	91.44	30.59	149.9	2.813	2.963	2.995	3.277	85.9

*) Nach Professor Ayrton vom 9. Februar 1888 im Journal of the Proceedings of the Society of Telegraph-Engineers and Electricians. Part 71. Vol. XVII.

Nach Versuchen im Central-Institute von den Herren Dykes, Lamb, Priest, Smith und Zingler.

In den beiden letzten Columnen ist der Verlust durch Selbstinduction vernachlässigt in den Transformatoren, wie auch in den feinen Windungen des Wattmeters. Polwechsel bei allen Versuchen in $\frac{1}{480}$ Secunden.

Durch Parallelschaltung der Wechselstrom-Maschinen, die seit wenig Jahren erst praktisch durchgeführt ist, wird es möglich, dem jeweiligen Strombedarf zu entsprechen und die Spannung constant zu halten.

Während bei dem System von Ganz & Co. die primäre Spannung gewöhnlich 1800—2000 Volt beträgt und dieselbe durch einmalige Transformirung auf 56—100 Vdlt reducirt wird, hat Ferranti bei dem Deptforter Werken zur Beleuchtung der Stadt London 10.000 Volt angewendet. Diese Spannung wird durch mehrfache Transformirung in besonderen Vertheilungscentren für Licht und Kraft auf geeignete niedrige Spannungen umgeformt. In den Vertheilungsstationen befinden sich 150pferdige Transformatoren, welche die Spannung auf 2400 Volt umsetzen, die jedoch an den Verbrauchsorten des Stromes auf 100 Volt ermässigt ist. *)

Die Transformatoren gehören zum Typus der Manteltransformatoren. Die Inductionsspulen sind meistens in mehrere Abtheilungen getheilt, um die Abkühlung zu erleichtern.

Die Hauptleitung besteht aus zwei concentrischen, aus Blech zusammengebogenen Kupferröhren, die aus vierkan-

*) S. Elektro-technische Zeitschrift, Berlin 1889, S. 32.

tigen Streifen spiralförmig zusammengewunden und durch eine stark isolirende Schicht von einander getrennt sind. Der Gesamtdurchmesser dieses Kabels ist 6 cm. Per Quadratzoll Kupferquerschnitt können 330 Ampère hindurchgeleitet werden, was für 100.000 Glühlampen ausreicht. Um Unglücksfälle durch Berührung des Kabels bei so hohen Spannungen zu verhüten, ist die äussere Leitung mit der Erde dauernd verbunden, so dass hier keine den menschlichen Körper schädigenden Spannungsdifferenzen auftreten können. Soviel bekannt geworden ist, hat der Betrieb mit einer hohen Spannung anfangs grosse Schwierigkeiten geboten und hat man sich lange Zeit mit einer primären Spannung von 2000 Volt begnügen müssen.

Interessant ist in dieser Beziehung die von der Firma Ganz & Co. zwischen Rom und Tivoli hergestellte Kraftübertragung, welche auf 26 Klm. 2000 Pferde von den berühmten Wasserfällen zu Tivoli nach der elektrischen Centrale der Societa anglo-italiana del Gas in Rom übermittelt. Diese Centrale arbeitet mit einer Primär-Spannung von circa 1800 Volt, während die Kraft von Tivoli mit 5000 Volt betrieben wird. Es ist nicht zu zweifeln, dass die Anlage unter der ausgezeichneten Oberleitung des Herrn Professors Mengarini sich ebenso bewähren wird, wie die mit 4000 Pferden ausgestattete Centrale, welche nun schon mehrere Jahre zu allgemeiner Zufriedenheit arbeitet. Wie Herr Zipernowki in Budapest dem Verfasser seiner Zeit mittheilte, haben die Versuche der Maschinen mit 5000 Volt besondere Schwierigkeiten gemacht und längere Zeit in Anspruch genommen. Doch

würde er heute nach seinem System eventuell noch Anlagen mit 10.000 Volt ausführen.

Rancine Kennedy*) benützt zur Vertheilung der elektrischen Kraft pulsirende Gleichströme, deren Phasen um die halbe Wellenlänge verschoben sind. Die Primär-Maschine, welche die beiden pulsirenden Gleichströme erzeugt, enthält auf ihrer Armatur nur 2 Spulen, deren Enden an gesonderten Hälften zweier Schleifringe geführt sind. An jedem Schleifringe sind durch Contact zwei Leitungen angeschlossen.

Jedes dieser Leitungspaare führt einen pulsirenden Strom, der zum Betriebe von Transformatoren verwendet werden kann. Zur Erregung der Dynamo sind die Magnetwindungen der Schenkel mit je einem Leitungspaar und eine dritte dazwischen liegende Spule einerseits mit der negativen Leitung des einen Leitungspaares, und andererseits mit der positiven Leitung des anderen Leitungspaares verbunden.

Auf diese Weise ist es möglich, die beiden Leitungspaare, jedes für sich, zum Betriebe von Transformatoren zu benutzen, oder auch einen Transformator mit dreifacher Wicklung zwischen die Leitungspaare zu schalten; andererseits aber auch zwischen den Leitungspaares, Accumulatoren, Gleichstrom zu leiten, oder Elektromotoren zu treiben. So vielseitig dieses System auch ist, so leicht es sich den verschiedenen Bedürfnissen anpassen lässt, hat es doch einen grossen Mangel und das sind die 4 Leitungen.

Man darf sich in dieser Hinsicht keine Illusionen machen, wenn auch die Kraft, welche man zu übertragen

*) S. Elektrizitäts-Zeitung, Berlin, 24. März 1891, S. 274.

denkt, in ihrer Erzeugung noch so billig ist, wird deren Fortleitung für die Weitübertragung um so kostspieliger, je grösser die Kraft und je weiter der Ort ist, wo dieselbe zur Ausnützung gelangen soll.

Einen in wirtschaftlicher Beziehung grossen Fortschritt hat man neuerdings mit den Oelstransforma-

Fig. 22.

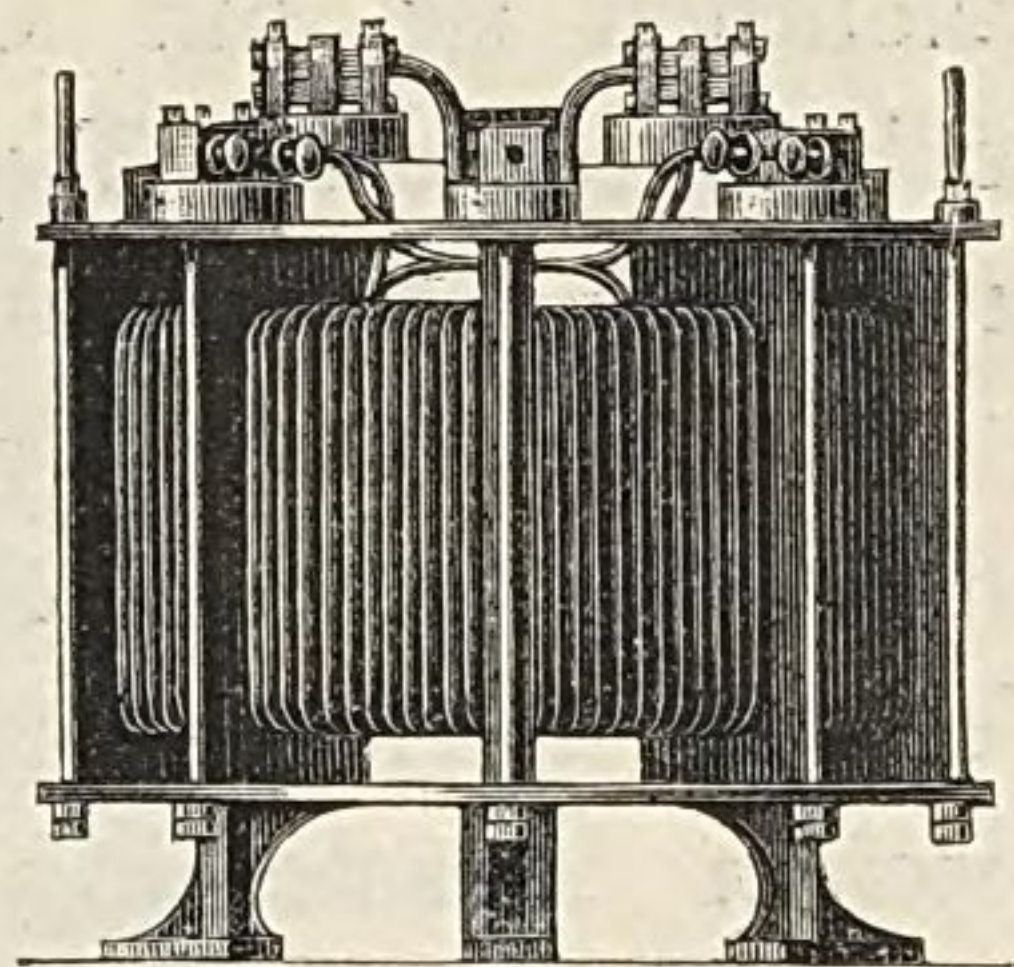


Fig. 21.

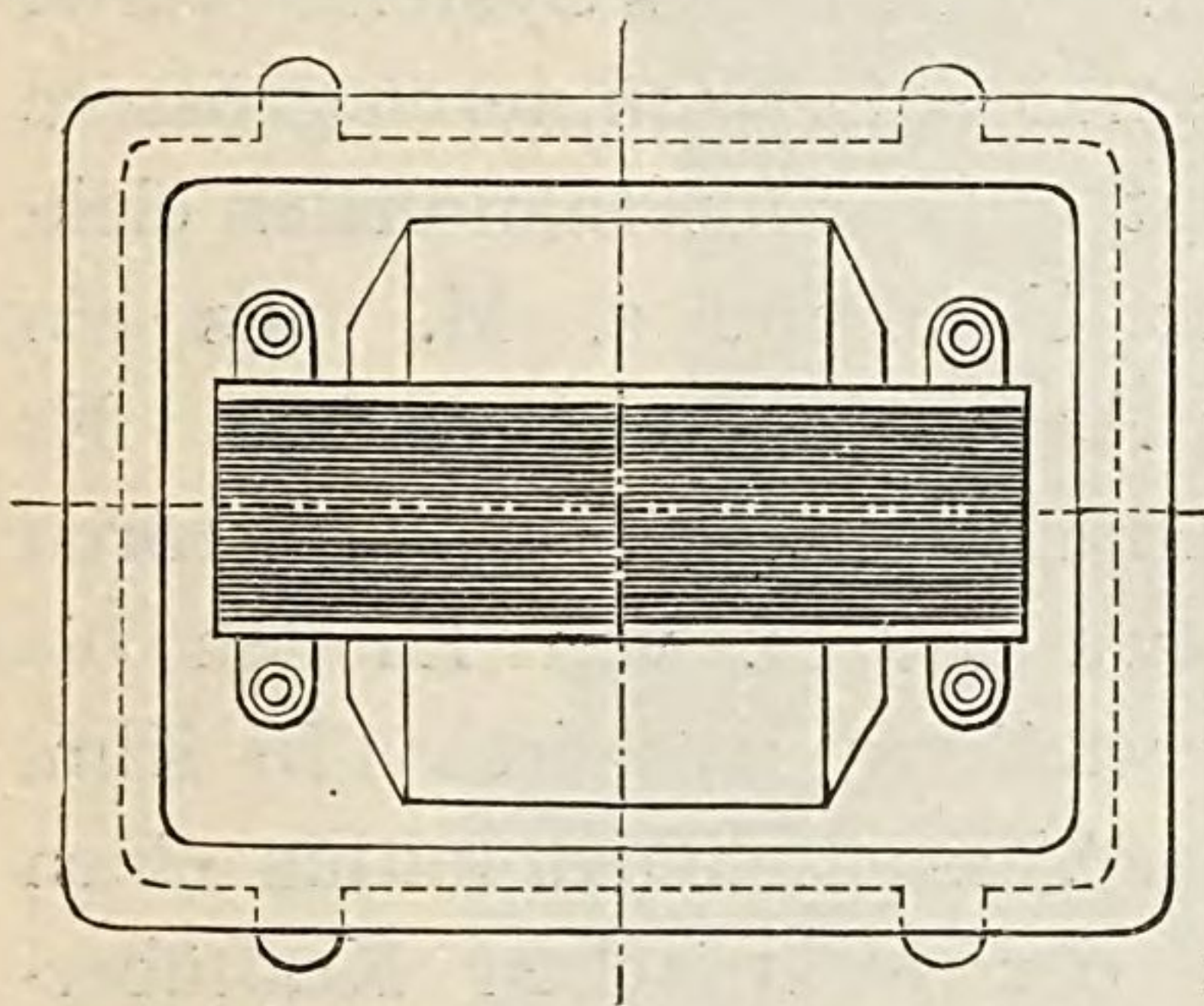
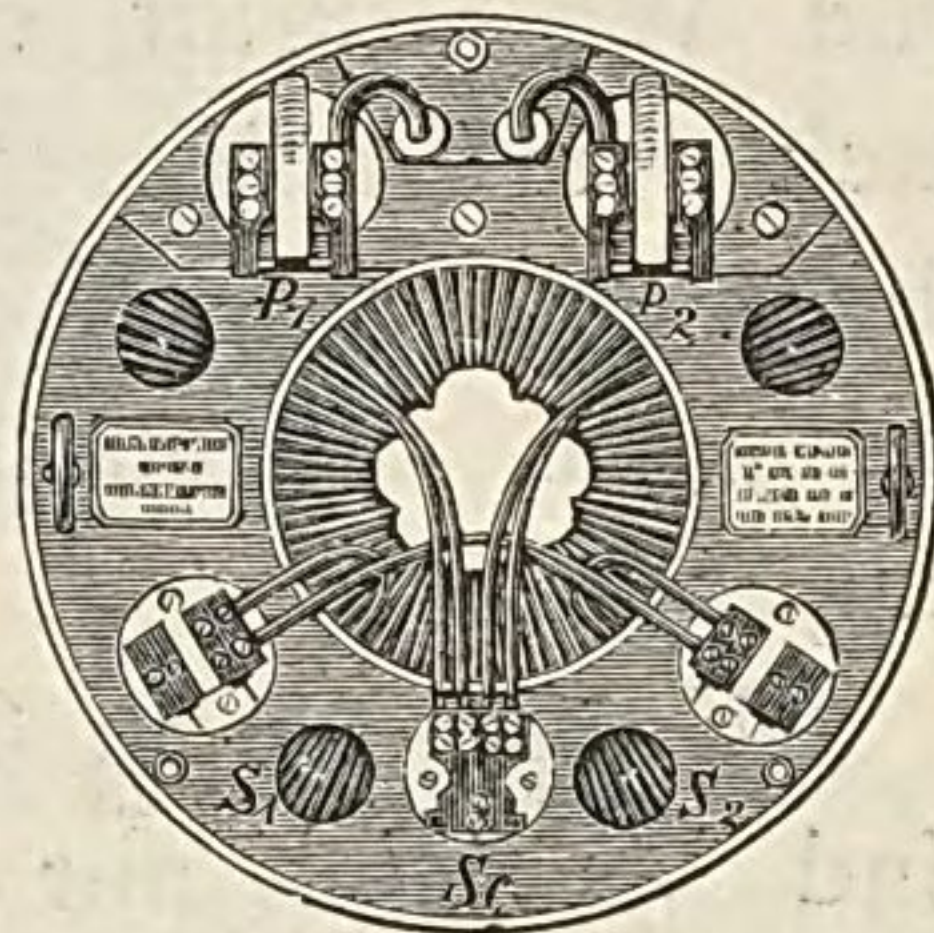


Fig. 23.



toren erzielt, wie sie in den Figuren 19—21 abgebildet sind. *) Dieselben gestatten nämlich die Anwendung hochgespannter Ströme bis etwa 50.000 Volt, während man, wie schon oben erwähnt wurde, bisher sich nur mit 2—5000 Volt begnügen musste. Es ist klar, dass

*) S. Elektro-technische Zeitschrift, Berlin, 13. März 1891, S. 138.

hierdurch der Leitungsquerschnitt selbst auf bedeutende Entfernungen für erhebliche Kräfte sehr vermindert wird.

Dass ein Durchschlagen der Isolirung an diesen Transformatoren bei so hohen Spannungen nicht stattfindet, wird dadurch erreicht, dass man die gesamten Wicklungen, wie aus den Figuren 19 und 20 ersichtlich ist, mit Oel bedeckt. Das Güteverhältniss ist bei grösseren Typen dieses Transformators ohne zu grossen Materialaufwand 96—98⁰/₀.

Die praktische Brauchbarkeit dieses Systems wurde zunächst von der Maschinenfabrik Ortikon durch grössere Versuche erwiesen und hat auf der Internationalen elektrischen Ausstellung zu Frankfurt a. M. uns ein grösseres Beispiel seiner Anwendbarkeit gegeben. Es ist nämlich unter Anwendung dieser Transformatoren eine Wasserkraft von etwa 300 Pf. von Lauffen bis nach der Frankfurter Ausstellung auf circa 175 Klm. übertragen worden. Dieser Versuch bildet mithin einen wichtigen Abschnitt in der elektrischen Kraftübertragung.

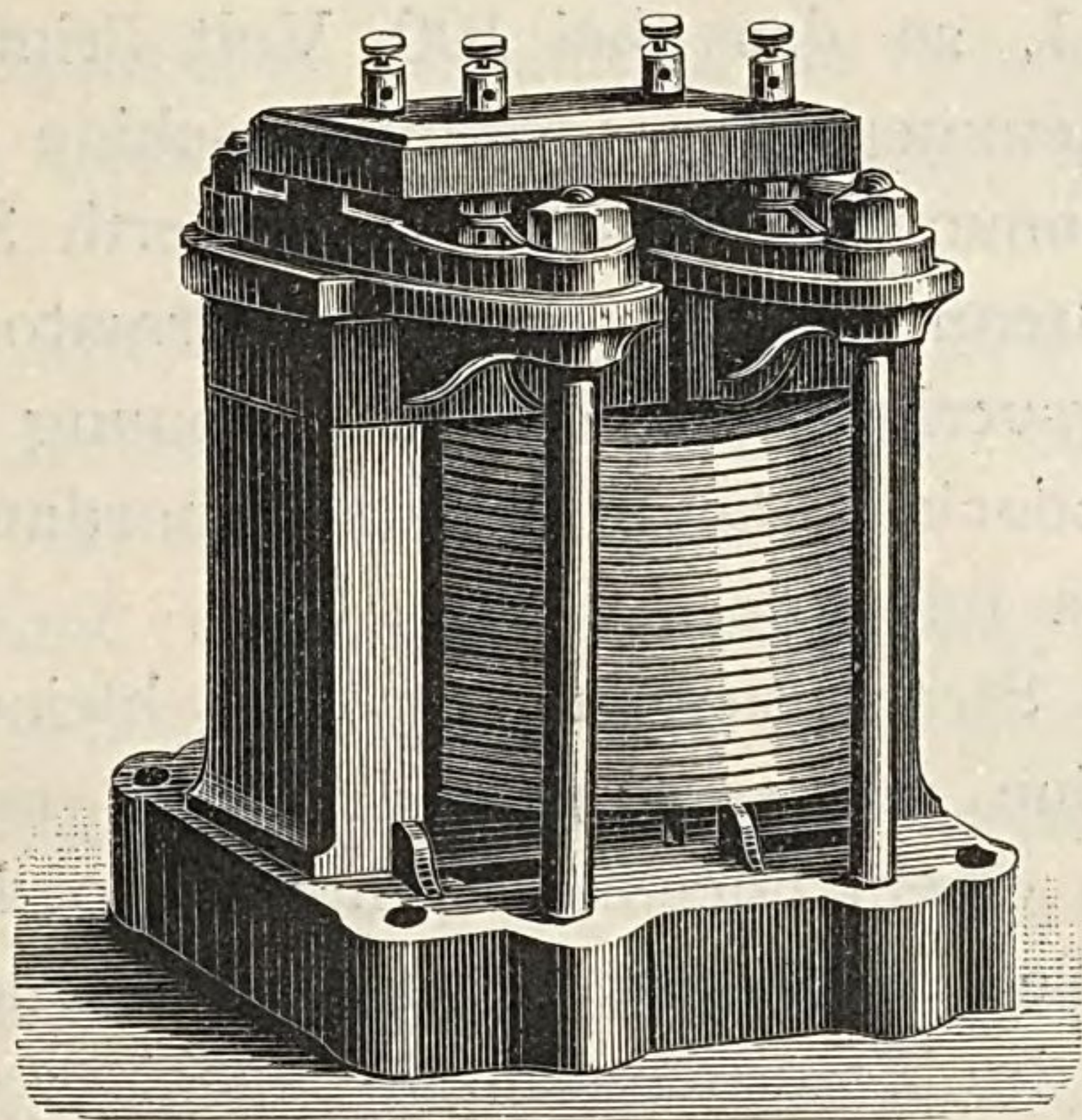
Ueber die in Oerlikon stattgefundenen Versuche sind bis jetzt nur kurze und wenig ausführliche Berichte veröffentlicht worden, deren ausführlichsten die elektro-technische Zeitschrift wie folgt uns bietet. *) Die Proben bezweckten zuerst einer Anzahl geladener Fachleute Versuche vorzuführen, welche darthun sollten, dass diese neue Art der elektrischen Kraftübertragung, welche zwischen Lauffen und Frankfurt a. M.

*) S. Elektro-technische Zeitschrift, Berlin, 6. Februar, S. 61 und 27. Februar, S. 111.

während der Dauer der Ausstellung functioniren soll, auch praktisch durchführbar und bis zu einem gewissen Grade gefahrlos sei.

Welch' besonderes Interesse man allgemein diesen Versuchen entgegenbringt, geht schon daraus hervor, dass aus Reichsmitteln 10.000 Mark bewilligt sind, und

Fig. 23a.



die Post- und Eisenbahnbehörden in zuvorkommendster Weise die Herstellung der nöthigen Leitung gestattet, resp. übernommen haben.

In einem ersten unmittelbar mit den Polklemmen der Strom erzeugenden Wechselstrommaschine verbundenen Haupttransformator wird zunächst die Primärspannung P auf die Uebertragungsspannung mP erhöht; in einem zweiten, am anderen Ende der Leitung angeschlossenen Haupttransformator wird die übertragene Energie entweder auf die Vertheilungsspan-

nung np oder direct auf die z. B. an den Lampen erforderliche Verbrauchsspannung p gebracht; im ersteren Falle, wo es sich um ein ausgedehnteres Vertheilungsgebiet handelt, geschieht die Reduction von np auf p wie gewöhnlich durch ein System von Transformatoren in Parallelschaltung. Bei den vorgenommenen Versuchen betrug das Umsetzungsverhältniss der beiden Haupttransformatoren $1:300$, bzw. $300:1$, so dass bei 100 Volt Primärspannung an den Klemmen der Dynamomaschine die Uebertragungsspannung angenähert den Werth 30.000 Volt besass, während der zweite Transformator diese um den Leitungsverlust verminderte Spannung wieder auf 100 Volt reducirte. Diese Versuchsanordnung war im Wesentlichen folgende:

Die als Stromerzeuger dienende kleine Wechselstrommaschine mit separater Erregung erhielt ihren Antrieb von einem Gleichstrommotor, so dass es möglich war, die Primärspannung durch Aenderung der Tourenzahl des Motors innerhalb beliebiger Grenzen zu variiren.

Die Messung der Primärspannung geschah mit Hilfe eines Cardew'schen Voltmeters; die hieraus abgeleitete Uebertragungsspannung wurde durch eine elektrostatische Waage nach W. Thomson controlirt.

Die beiden Haupttransformatoren zeichnen sich vor der bekannten Form der gewöhnlichen Transformatoren der Maschinenfabrik Oerlikon hauptsächlich dadurch aus, dass die primären und secundären Wicklungen derselben sowohl unter sich als auch gegen den Eisenkern durch entsprechend dicke Oel-

schichten isolirt sind; die Apparate sind zu diesem Behufe ganz in Oelbäder eingetaucht.

Da von Herrn Brown angestellte Vorversuche ergeben hatten, dass auch mit Spannungen von 30.000 Volt merkliche Ableitungen von Draht zu Draht selbst bei hohem Feuchtigkeitsgehalt der Luft nicht zu constatiren waren, sondern dass die Isolationsverhältnisse der Linie nur von der Zahl und Qualität der Isolatoren abhängen, so konnte von der Errichtung einer langen Kupferdrahtleitung abgesehen werden.

Dafür wurden die verwendeten 108 Flüssigkeitsisolatoren, einfaches Modell von 10×8 Cm. in kleinen Distanzen von circa 25 M. montirt.

Bei einer normalen Stangendistanz von 75 M. entspricht dies ungefähr 8 Km. einfacher oder 4 Km. Doppelleitung. Die gegenseitige Entfernung zwischen Hin- und Rückleitungsdraht betrug circa 30 Cm. In etwa gleichem verticalen Abstand unter der Starkstromleitung, jedoch in unsymmetrischer Lage bezüglich jener Drähte wurde noch eine Telephonleitung gezogen; der Draht war einfach mittelst Krampen an den die Isolatorentraversen tragenden hölzernen Ständern angeheftet, so dass sich nicht nur Inductionswirkungen, sondern auch noch allfällige directe Stromverzweigungen im Telephon geltend machen mussten.

Im secundären Stromkreise des zweiten Haupttransformators befanden sich 3 Gruppen von je 10 Glühlampen à 16 N. K, und 50, bzw. 65 und 100 Volt Verbrauchsspannung. Herr Brown stellte nun folgende Versuche an:

1. Die Wechselstrommaschine wurde so regulirt, dass die Primärspannung 50 Volts und die Uebertragungsspannung 15.000 Volts betrug. Das Voltmeter bei den Glühlampen zeigte alsdann 50 Volts; hierauf erhöhte man die Spannung successive, bis die 2. und 3. Lampengruppe mit 65, bzw. 100 und 110 Volt brannte. Das Cardew-Voltmeter zeigte proportional ansteigende Primärspannungen von 65, bzw. 100 und 110 Volt.

Hätte in den Transformatoren oder auf der Leitung eine merkliche directe Ausgleichung der Spannung stattfinden können, so würde das ein stärkeres Ansteigen der Primärspannung bedingt haben, um die Glühlampen von 50 auf 100 Volt zu bringen.

2. Die Enden des Hin- und Rückleitungsdrahtes wurden unmittelbar vor der Einführung in den zweiten Haupttransformator einander bis auf 18—22 Mm. genähert. Die Primärspannung stieg auf 15.000 und 18.000 Volt, worauf zwischen den beiden Spitzen ein Funke übersprang.

Zu gleicher Zeit schmolz die Bleisicherung im Primärkreise und machte daher die Hauptleitung stromlos. Dieser Versuch wurde mit gleichem Erfolge mehreremale wiederholt; die Sicherung schmolz jedesmal im Augenblicke der Funkenbildung durch. Setzte man dagegen einen viel zu stark bemessenen Bleidraht ein, so bildete sich ein aufwärts gerichteter U-förmiger Lichtbogen mit scharfen Umrissen, der gleichfalls in 1—2 Secunden das Blei zum Schmelzen brachte.

Versuche, die Verfasser selbst mit 2000 Volt Gleichstrom gemacht hat, ergaben erst bei etwa

$\frac{1}{2}$ Mm. Abstand der Enden eine Funkenbildung, so dass also die Funkenlänge ein Mass der aufsteigenden Spannung bildet und also bei nicht hinreichender Trennung und Isolirung von Leitungen, welche Ströme hoher Spannung führen, eine Ausgleichung der Spannung zu gewärtigen ist.

3. Bei voller Spannung bewirkte man durch einen fallenden Kupferdraht einen Kurzschluss in der Hauptleitung, wodurch gleichfalls dieselben Erscheinungen wie unter Nr. 2 hervorgerufen wurden. Dieselben Erscheinungen treten auch ein, wenn der Kurzschluss durch einen schlechten Leiter, wie ein Holzbrett im trockenen Zustande erzeugt wird. Hieraus folgt, dass selbst unvollkommener Erdschluss, der etwa bei einer oberirdischen Leitung durch Umbrechen des Gestänges eintreten könnte, ebenso wie ein Kurzschluss wirken und weitere Gefahr verhüten wird.

4. Eine der beiden Leitungen wurde mit der Erde verbunden. Die Isolation war jedoch so bedeutend, dass eine Aenderung in der Spannung sich nicht nachweisen liess.

5. Der kräftige Wasserstrahl eines Hydranten vermochte bei Bestreichung der Leitungsdrähte und Isolatoren keine Ableitung zu erzeugen, so dass auch der heftigste Regen keinen störenden Einfluss auf die Stromstärke haben kann.

6. Die Inductionswirkung in parallel verlaufender Telephonleitung zeigte sich weniger störend, als diejenige benachbarter Telegraphenleitungen.

Um jede Gefahr zu beseitigen, welche dadurch entstehen könnte, dass bei einem Leitungsbruche beide

Enden die Erde berühren, sollen automatische Erdschlussanzeiger zur Anwendung gelangen, welche die Leitungen im Falle eines Leitungsbruches sofort stromlos machen, so dass Reparaturen auf der Strecke ohne Gefahr vorgenommen werden können. Die Versuche haben allen Anwesenden die Gewissheit gegeben, dass der Betrieb durch einfachste Mittel mit grosser Sicherheit erfolgen kann.

Die Versuchsleitung mit über 100 Isolatoren wurde im Winter unter den verschiedensten Witterungsverhältnissen täglich mit Spannungen bis zu 40.000 Volt belastet, ohne dass irgend welche abnorme Erscheinungen aufgetreten wären. Tagelang betrieb man 30 Glühlampen mit einer primären Spannung von 30.000 Volt ohne jegliche Störung, auch zeigten sich bei Verbindung einer Leitung mit Erde kaum nachweisbare Stromverluste. Die Wechselstromdynamo gab bis zu 120 Volt, der Transformator hatte ein 300-faches Uebersetzungsverhältniss. — Während man für die Vorversuche in Oerlikon gewöhnlichen Wechselstrom verwendet hat, ist bei der definitiven Anlage zwischen Lauffen und Frankfurt a. M. ein Wechselstrom mit 3 Phasen angewendet worden, sodass also dementsprechend auch 3 Leitungen erforderlich wurden. Die Einrichtung des zu dem Phasenstrom gebrauchten Elektromotors werden wir später kennen lernen.

Wenn auch der Drehstrom schon im Jahre 1887 zu Offenburg i. B. durch Herrn Haselwander zu praktischem Gebrauche eingeführt worden ist, so haben

doch erst die diesjährigen Versuche zu Oerlikon allgemeine Aufmerksamkeit erregt.

Weitere Fortschritte auf diesem Gebiete hat Herr W. Lahmeyer zu Frankfurt a. M. durch Anwendung des Gleichstromes auf die Umformer erzielt und es dadurch möglich gemacht, auch grössere Districte in rationeller Weise durch transformirten Gleichstrom zu versorgen.*) Durch Centralisirung der Erzeugungsorte für die Kraft werden die Kosten derselben an den einzelnen Versorgungsstellen wesentlich billiger. Es wird an Raum gespart, Rauch vermieden und eine grosse Sicherheit und Bequemlichkeit des Betriebes erreicht, so dass die Elektrizität die anderen Naturkräfte im Dienste der Industrie je länger je mehr überflügelt.

Die nächste Zeit bringt uns somit mächtig miteinander rivalisirende Fortschritte der Kraftübertragung des Wechselstromes und des Gleichstromes. Beide Systeme werden nicht allein nebeneinander hergehen, sondern gegebenen Falles einander ergänzen. Die Entfernung, welche ja theoretisch und technisch heute gar keine Rolle mehr spielt, wird in Zukunft allein an dem wirtschaftlichen Querschnitt eine Grenze finden. Wie man in der Telegraphie durch Einschaltung von Relais die Worte auf Hunderte von Kilometern fortpflanzt, so ist es nicht ausgeschlossen, dass man in analoger Weise durch Einschaltung von Elektromotoren und Erzeugung eines neuen Stromes durch dieselben Relais Stationen bildet, welche es möglich

*) S. Vortrag des Herrn W. Lahmeyer in Essen a. d. R., im Bezirksvereine deutscher Ingenieure.

machen, auf ganz bedeutende Entfernungen die elektrische Energie zu übermitteln.

Dieser Entwicklungsgang der uns hier beschäftigenden neuen Errungenschaften treibt uns unaufhaltsam dem Elektromonopol entgegen.

Ein in Amerika sehr verbreitetes Vertheilungssystem unter Anwendung von Wechselstromtransformatoren ist das der Thomson-Houston Co. Die Transformatoren dieser Gesellschaft gehören dem Manteltypus an. Sie weichen hauptsächlich in Einzelheiten von den sonst üblichen Constructionen ab, welche es ermöglichen, eine möglichst billige Herstellung zu erzielen. Ein wasserdichter Kasten gestattet die Anbringung dieser Umformer selbst im Freien, so dass deren Einschaltung auch an Leitungsstangen und aussen an Gebäuden stattfinden kann. Die primäre Spannung, mit welcher diese Transformatoren betrieben werden, beträgt für gewöhnlich 1000 Volt, während die secundäre Windung in zwei Abtheilungen à 52 Volt getheilt ist, so dass auch einzelne Bogenlampen eingeschaltet werden können.*)

Das System ist in jeder Weise gut durchgearbeitet und hat man auch einen kleinen Transformator construirt, vermittelst dessen Erdschlüsse ermittelt werden können. In der Nähe jedes Transformators ist ausserdem noch eine Blitzschutzvorrichtung angebracht, welche durch magnetische Wirkung den etwa durch Blitzschlag veranlassten Lichtbogen unterbricht und dadurch die dahinter liegenden Apparate vor Zer-

S. Elektrotechnischer Anzeiger. Berlin, 22. März 1891, S. 410.

störung schützt. Beschreibungen anderer Systeme, nähere Details derselben bietet die über diesen Gegenstand sehr umfangreiche Tagesliteratur.

Die elektrotechnische Zeitschrift bringt am 27. Februar 1891, S. 114 u. f. eine ausführliche Arbeit von Gisbert Kapp über Capacität und Selbstinduction im Wechselstrombetriebe; und ferner in demselben Heft auf S. 113 eine Arbeit von Dr. J. A. Fleming über die Fortpflanzung eines Wechselstromes durch concentrische Kabel, beides Arbeiten, die für den Constructeur von grossem Interesse sein werden.

Ich muss es mir leider versagen, bei einem Werke, was in einem kleinen Rahmen das grosse Gebiet der Kraftübertragung behandeln soll, näher auf diese interessanten Abhandlungen einzugehen, wollte dieselben jedoch nicht unerwähnt lassen.

4. Die elektrischen Krafterzeuger.

a) Die Gleichstrommotoren.

Wie aus dem Vorstehenden bekannt ist, kann man jede Dynamomaschine durch Umstellen der Bürsten und Einleiten von Strom zu einem Elektromotor machen. Es ist damit jedoch noch nicht gesagt, dass die beste Dynamomaschine auch den besten Elektromotor abgibt. Lange Zeit war man allerdings in diesem Irrthum befangen und machte in Folge dessen auch wenig Fortschritte im Bau der Elektromotoren. Wenn auch Marcel Deprez, Hopkinson und Andere durch ihre Untersuchungen über die magnetische Sättigung des Eisens mehr Licht in die Sache brachten, so ist

man über diese Punkte noch immer im Streit. Ausser den Genannten haben Ayrton, Perry und Sprague die Theorie der Elektromotoren lebhaft gefördert und die Veranlassung zu zahlreichen Constructionen und Versuchen gegeben.*)

Einer der wichtigsten Punkte beim Bau und Betriebe von Elektromotoren, welchen Sprague hauptsächlich klargestellt hat, ist die Rücksicht auf die von dem Elektromotor erzeugte Gegenkraft.

Die Differenz zwischen der elektromotorischen Kraft des Stromes, den die Primärmaschine erzeugt, und der gegen elektromotorischen Kraft des Elektromotors, ergiebt in Verbindung mit dem Widerstande des Stromkreises die in demselben vorhandene Stromstärke. Die elektromotorische Gegenkraft bedingt also den Nutzeffect des Elektromotors oder des ganzen Uebertragungssystems. Man unterscheidet 3 verschiedene Arten von Elektromotoren und zwar:

1. Elektromotoren, bei welchen die Magnetschenkel parallel zur Armatur verbunden sind,
2. bei denen die Windungen der Schenkel mit der Armatur hintereinander geschaltet sind und
3. Motoren, bei denen eine aus beiden obigen Schaltungen combinirte Schaltung angewendet ist.

Natürlich giebt es noch eine ganze Menge kleiner Abweichungen bei jeder dieser Classen, da verschiedene Umstände auf dieselben einwirken.

Je nachdem man 1. die Kraft überträgt bei veränderlicher Spannung und veränderlicher Stromstärke

*) S. The Electric Motor and its Applicatins by Thomas Commerfort, Martin and Joseph Wetzlar 1889, New-York.

2. bei constanter Stromstärke und 3. bei constanter Spannung werden sich die verschiedenen Details des Elektromotors diesen Bedingungen anpassen müssen. Die Anwendung constanter Stromstärke wird in den seltensten Fällen stattfinden und kann nur da eintreten, wo es darauf ankommt in einem Vertheilungsnetze, das z. B. für eine grössere Lampenzahl beständig dient, eine grössere Kraft zu erzeugen. Mehrere Elektromotoren in dieser Weise zu betreiben, wird sich selten empfehlen und hat sich auch in der Praxis wenig bewährt.

Einen ausgedehnten Gebrauch dagegen macht man vom Betriebe der Elektromotoren mit constanter Spannung. Ein Motor mit Hintereinanderschaltung von Magneten und Armatur kann bei geringer Geschwindigkeit bedeutende Arbeit leisten. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Armatur bei verschiedener Belastung wechselt jedoch ganz bedeutend, so dass derselbe da, wo constante Geschwindigkeit erforderlich ist, vollständig unbrauchbar wird.

Sobald sich die Belastung vermindert, wächst die Geschwindigkeit, und zwar wächst dieselbe bei plötzlicher Entlastung sehr stark. Ein Elektromotor mit Magneten im Nebenschluss arbeitet dagegen bei constanter Spannung ausgezeichnet. Da das Feld unabhängig von der Armatur erregt wird, so bleibt dasselbe constant, und da die genelektromotorische Kraft des Motors wie die Belastung sich ändert, das Feld constant ist, so ändert sich seine Geschwindigkeit nur mit derselben. Die Geschwindigkeit ist bei der grössten Belastung am geringsten und bei der gering-

sten Belastung am grössten, d. h. $e = E$, d. h. je kleiner der Widerstand der Armatur, je geringer die Veränderung der Geschwindigkeit. Combinirt man die Schaltung der Magnete, so dass man sie theils parallel zur Armatur, theils hinter dieselbe schaltet, so erhält man bei constanter Spannung unter allen Verhältnissen eine ausgezeichnete Regulirung der Geschwindigkeit des Elektromotors. Nennt man E die elektromotorische Kraft der Primärmaschine, e die gegenelektromotorische Kraft des Elektromotors, dann ist die Stromstärke $J = \frac{E - e}{w}$, dann ist die geleistete Arbeit $= \frac{e(E - e)}{w}$

und der Nutzeffect $= \frac{e}{E}$. Man sieht hieraus, dass der Nutzeffect und die total geleistete Arbeit unabhängig von den Feldmagneten sind, allein abhängig von der ursprünglichen elektromotorischen Kraft E , der gegenelektromotorischen Kraft e und dem Widerstande der Armatur. Man kann daher der gegenelektromotorischen Kraft jeden Werth geben, mit jeder beliebigen Feldstärke, wenn man die geeignete Geschwindigkeit wählt.

Die Feldstärke bestimmt die Umdrehungsgeschwindigkeit, mit welcher ein Motor arbeiten muss, um einen bestimmten Nutzeffect zu geben. Bei einer bestimmten Spannung an den Klemmen des Motors kann, trotz sehr stark sich ändernder Belastung, die Umdrehungsgeschwindigkeit constant erhalten werden, indem man die Feldstärke entsprechend ändert, und zwar muss der Magnetismus des Feldes vermindert werden, wenn die Belastung wächst und umgekehrt verstärkt werden,

falls die Belastung fällt. Diese Thatsachen erklären sich wie folgt:

Angenommen der Strom, der in den Motor geleitet ist, wird von einer Hauptleitung mit constanter Spannung abgezweigt, die Magnetschenkel und die Armatur liegen zu einander im Nebenschluss. In diesem Falle läuft die Armatur mit einer Geschwindigkeit, welche abhängig ist von der Feldstärke, der anfänglichen Spannung, der Anzahl der Windungen und dem Widerstand der Armatur.

Eine bestimmte Belastung und gegenelektromotorische Kraft reguliren den Strom der Armatur. Je höher die Geschwindigkeit, je grösser die gegenelektromotorische Kraft. Der Strom der Armatur $= \frac{E - e}{w}$,

bei einem bestimmten Felde ändert sich e mit der Geschwindigkeit. Die Kraft bei einer gewissen Geschwindigkeit und die Feldstärke ändern sich mit der Stromstärke, und bei einer bestimmten Stromstärke ändert sie sich mit der Feldstärke. Die total geleistete Arbeit ist das Product der Geschwindigkeit mal der Arbeit einer Windung, und da die Geschwindigkeit sich wie e verhält und die Arbeit einer Windung wie die der Stromstärke $\frac{E - e}{w}$, so ist die total geleistete Arbeit

ausgedrückt durch $\frac{e(E - e)}{w}$. Der Nutzeffect ist daher

das Verhältniss $\frac{e}{E}$.

Man sieht hieraus, dass beide Ausdrücke, die total geleistete Arbeit und der Nutzeffect, keine Functionen

des Feldes sind, sondern lediglich abhängen von der ursprünglichen und der gegenelektromotorischen Kraft und dem Widerstande der Armatur. Man kann daher e jeden Werth geben, bei irgend einer Feldstärke, durch Anwendung einer geeigneten Geschwindigkeit. Nimmt man die Geschwindigkeit des Motors als constant an und nur die Feldstärke als variabel, so erhält man durch Differenzirung des obigen Ausdruckes $\frac{dc}{w} (E - e)$, als das Verhältniss, in welchem sich die Aenderung der geleisteten Arbeit bewegt. Es folgt hieraus, dass, um die Geschwindigkeit (bei Strom von constanter Spannung) bei verschiedener Belastung constant zu erhalten (bei Vermehrung der Belastung, bei der natürlich die Geschwindigkeit sinken würde), das Feld geschwächt, die gegenelektromotorische Kraft vermindert und der Strom der Armatur vermehrt werden muss, wodurch die Neigung zur Verminderung der Geschwindigkeit aufgehoben und so eine Vermehrung der mechanischen Arbeitsleistung erzielt wird. Bei Verminderung der Belastung wird das Feld verstärkt, die gegenelektromotorische Kraft steigt, die Stromstärke fällt, die Geschwindigkeit bleibt dieselbe und die Kraftleistung wird vermindert. Mit einem Wort, das Princip des Herrn Sprague, um den Elektromotor zu reguliren, besteht darin, die Magnetisirung der Feldmagnete zu verstärken bei Verminderung des mechanischen Effects; d. h. bei Verminderung der Geschwindigkeit oder der Kraftleistung oder von Geschwindigkeit und Kraftleistung und umgekehrt, in Verringerung der Magnetisirung, um die mechanische

Leistung zu erhöhen. Man kann diesen Zweck auf zweierlei Weise erreichen; einmal durch einen mechanischen Regulator, der auf den Stromlauf im Feldmagnet einwirkt, je nach der Aenderung der Geschwindigkeit des Motors. Diese Methode ist jedoch wenig befriedigend und Herr Sprague benützt zur Erreichung dieses Zweckes gewöhnlich eine Anzahl Spulen in Hintereinanderschaltung, abhängig von der Armatur. Diese Spulen üben einen entsprechenden magnetischen Einfluss aus, der den Hauptspulen der Magnete des Motors entgegengesetzt wirkt. Bei einem richtig construirten Elektromotor dürfen die Feldmagnete nicht zu stark gesättigt sein, d. h. man muss mit einer Charakteristik arbeiten, welche beinahe eine gerade Linie ist.

Bezeichnet f den Widerstand der Haupt- oder im Nebenschluss liegenden Feldspulen, m die Anzahl der Windungen derselben, w den Widerstand der Differenzial- oder hintereinander geschalteten Feldspulen, n die Anzahl der Windungen derselben, E die Spannung an den Nebenschlusspulen, e die gegenelektromotorische Kraft der Armatur und W den Widerstand der Armatur, so hat man die geleistete Arbeit wie zuvor $= \frac{e(E - e)}{w}$, d. h. sie hängt ab von e , einer veränderlichen Grösse und von den Constanten E und w .

Es ändert sich also e mit der Geschwindigkeit oder mit dem magnetischen Moment des Feldes, da jedoch die Bedingung aufgestellt wurde, dass die Geschwindigkeit constant bleibt, so muss e allein mit dem

Felde sich ändern. Der Strom in der Nebenschluss-Wicklung der Magnete ist $= \frac{E}{f}$.

Das magnetische Moment desselben $= m \frac{E}{f}$, die Stromstärke in den Hauptspulen des Feldes in Hintereinanderschaltung mit der Armatur

$$= \frac{E - e}{W + w}.$$

Das magnetische Moment derselben $= n \frac{E - e}{W + w}$.

Es muss das magnetische Moment im Ganzen also sein $= m \frac{E}{f} - n \frac{E - e}{W + w}$ und man hat unter diesen gegebenen Bedingungen (für zwei verschiedene gegen-elektromotorische Kräfte, resp. zwei verschiedene gegen-elektromotorische Belastungen)

$$\frac{e}{e^1} = \frac{m \frac{E}{f} - n \frac{E - e}{W + w}}{m \frac{E}{f} - n \frac{E - e^1}{W + w}}$$

oder

$$\frac{e}{e^1} = \frac{m E (W + w) - n f (E - e)}{m E (W + w) - n f (E - e^1)}$$

oder

$$\frac{e}{e^1} = \frac{m E (W + w) - n f E + n e f}{m E (W + w) - n f E + n e^1 f}$$

oder

$$e m E (W + w) - e n f E + e n e^1 f = e^1 m E (W + w) - e^1 n f E + e^1 n e f.$$

Hieraus ergibt sich

$$e m (W + w) - e n f = e^1 m (W + w) - e^1 n f,$$

oder

$$m (W + w) (e - e^1) = n f (e - e^1),$$

oder

$$\frac{m}{n} = \frac{f}{W + w}.$$

Das heisst, die Anzahl der Windungen der Nebenschlussspulen muss im selben Verhältniss stehen zu der Anzahl der Windungen der hintereinander geschalteten Spulen, als wie sich verhält der Widerstand der Nebenschlussspulen zur Summe der Widerstände der hintereinander geschalteten Spulen und der Armatur. Dies ist das Gesetz von Sprague, nach welchem man selbstregulirende Motoren wickeln muss, die bei constanter Spannung und variabler Belastung mit constanter Geschwindigkeit arbeiten sollen. Der so näher bestimmte Motor hat jedoch einen Fehler, er hat nämlich die schlechte Eigenschaft, dass im Moment des Angehens unter Belastung das magnetische Feld äusserst schwach ist, und dass er entweder gar nicht angeht, oder wenn er es thut, mit einer grossen Geschwindigkeit arbeitet, die Maximal-Stromstärke absorbirt und keine Arbeit leistet. Wenn man also einen Motor haben will, der von vornherein mit der normalen Geschwindigkeit arbeiten soll, ohne dass die Gefahr des Kurzschlusses eintreten kann, so muss man einen Widerstand im Nebenschluss zum Felde einschalten oder den Widerstand verändern, den die Nebenschlusswindungen im Verhältnisse zur Armatur

haben. Herr Sprague zieht es jedoch vor, durch einen Umschalter die Regulirwindungen der Feldmagnete kurz zu schliessen, oder sie kurz zu schliessen und umzuschalten. Werden sie umgeschaltet, so giebt der erste Stromimpuls ein sehr starkes Feld, vermehrt die Schwungkraft der Armatur und verhindert ein Verbrennen derselben durch Kurzschluss. Sobald die Geschwindigkeit sich erhöht und normal wird, schliesst man die Regulirspulen kurz, schaltet sie um, der Motor ist nun selbstregulirend.

Es ist hier nicht der Ort dazu, die verschiedenen Berechnungen der Elektromotoren für die verschiedenen Zwecke ausführlich darzustellen oder die weiteren wichtigen Maassnahmen kennen zu lernen, welche die Constructeure von Elektromotoren für die verschiedenen Zwecke ersonnen haben, sondern es sollte hier nur gezeigt werden, in wie einfacher und praktischer Weise die Selbstregulirung der Elektromotoren erzielt werden kann.*)

In analoger Weise hat Herr Sprague die Berechnung für Elektromotoren mit constanter Stromstärke aufgestellt. Da dieselben jedoch nur in ganz bestimmten Fällen Anwendung finden können, so will ich hier nicht weiter darauf eingehen.

Im Allgemeinen muss der Constructeur dahin streben, mit einem Minimum von Gewicht sowohl an Kupfer, wie an Eisen dem Elektromotor eine hohe

*) Diejenigen werthen Leser, welche sich hierüber näher informiren wollen, finden Näheres in den schon genannten Werken von Kittler, Thompson, Martin & Wetzler, sowie Etienne de Fodor, Die Elektromotoren, Hartleben, Wien.

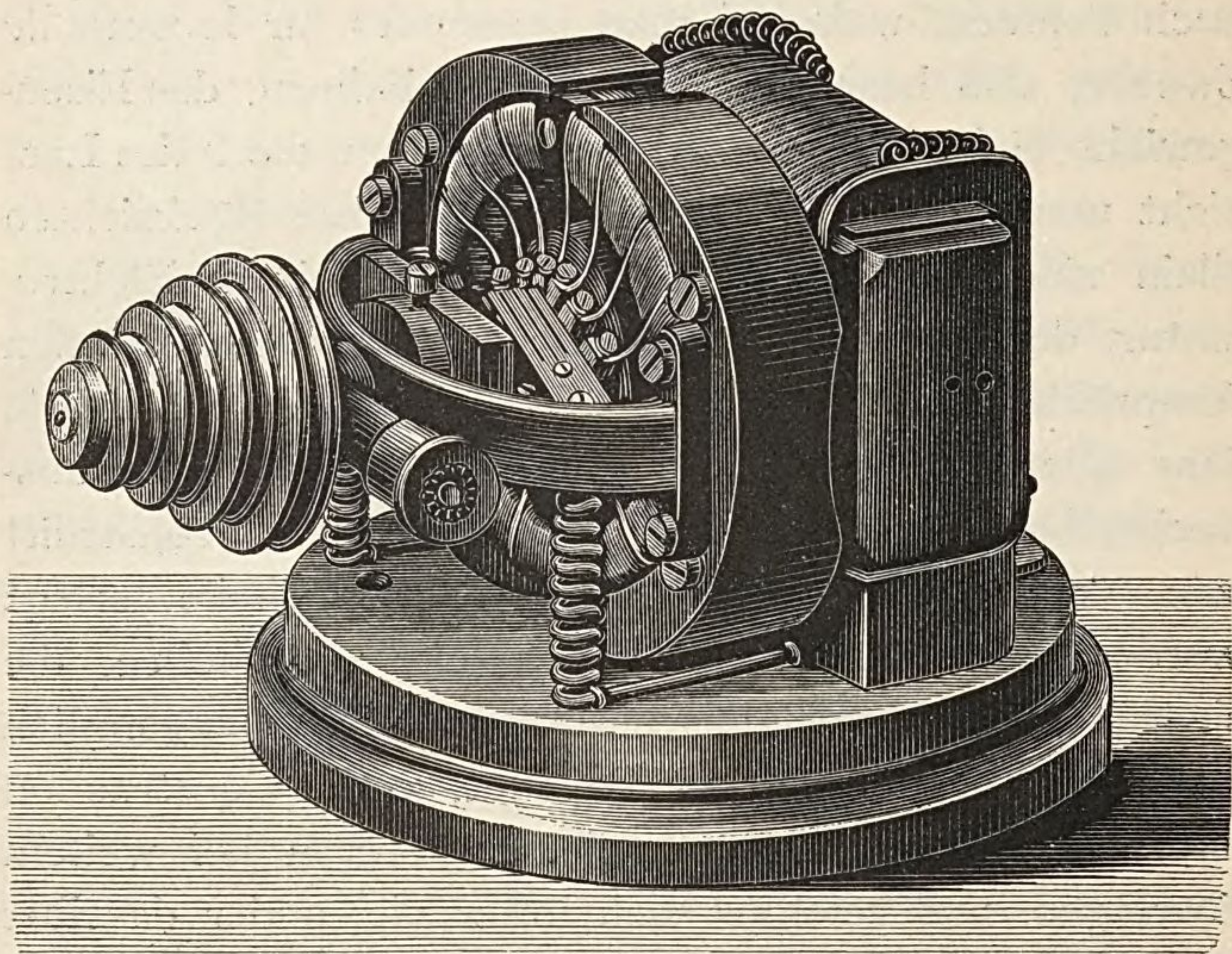
Leistungsfähigkeit zu geben und den Nutzeffect so hoch als möglich zu gestalten. Je nach dem Zwecke des Elektromotors können diese Grössen natürlich in gewissen Grenzen verändert werden. In vielen Fällen, besonders da, wo der Elektromotor unbeweglich fest steht, wird man das Eisengewicht desselben möglichst hoch nehmen, während man besonders für locomobile Zwecke, also besonders für Strassenbahnen, das Eisengewicht nicht so hoch nehmen darf, um die todte Last nicht unnöthig zu vermehren. Doch diese Rücksichten allein sind noch nicht genügend bei einem Elektromotor, der unter den schwierigsten Verhältnissen allen Ansprüchen genügen soll. Es ist noch erforderlich, dass alle Theile kräftig gearbeitet und leicht auswechselbar sind, d. h. der Motor muss so construirt sein, dass er leicht in seine einzelnen Theile zerlegt werden kann und diejenigen Stücke und Stellen, die einer etwaigen Abnützung unterliegen, leicht zugänglich sind. Amerika ist uns, wie bekannt, in der Construction und der Anwendung von Elektromotoren bei weitem überlegen, und zeichnet sich unter vielen der daselbst im Gebrauch befindlichen Constructionen auch diejenige von Sprague wieder aus, welche in rationellster Weise allen Anforderungen Rechnung trägt.

Auch der Motor der Thomson-Houston Electric Co. ist in Amerika in ausgedehntem Maasse in Gebrauch und hat sich in den verschiedensten Betrieben, so besonders auch im Strassenbahnbetriebe gut bewährt.

Die speciellen Einrichtungen derselben werden wir in einem späteren Capitel kennen lernen.

Die Fig. 24 zeigt einen Siemens'schen Elektromotor und die Fig. 25 denselben in Verbindung mit einem Ventilator. Die folgenden Tabellen geben einen Ueberblick über Elektromotoren, deren Gewicht, Leistung und Stromverbrauch.*)

Fig. 24.



Die Fig. 26 zeigt den Typus eines Elektromotors mit schmiedeeisernen Magnetschenkeln, wie er von der Berliner Maschinenbau-Actien-Gesellschaft gebaut wird.

b) Die Wechselstrommotoren.

Gelehrte und Praktiker bemühten sich längere Zeit einen dem Gleichstrommotor möglichst gleich-

*) Die erste Tabelle bezieht sich auf Elektromotoren der Firma O. L. Kummer & Co., welche dieselben vielfach auf Schiffen zur Anwendung gebracht hat.

Fig. 25.

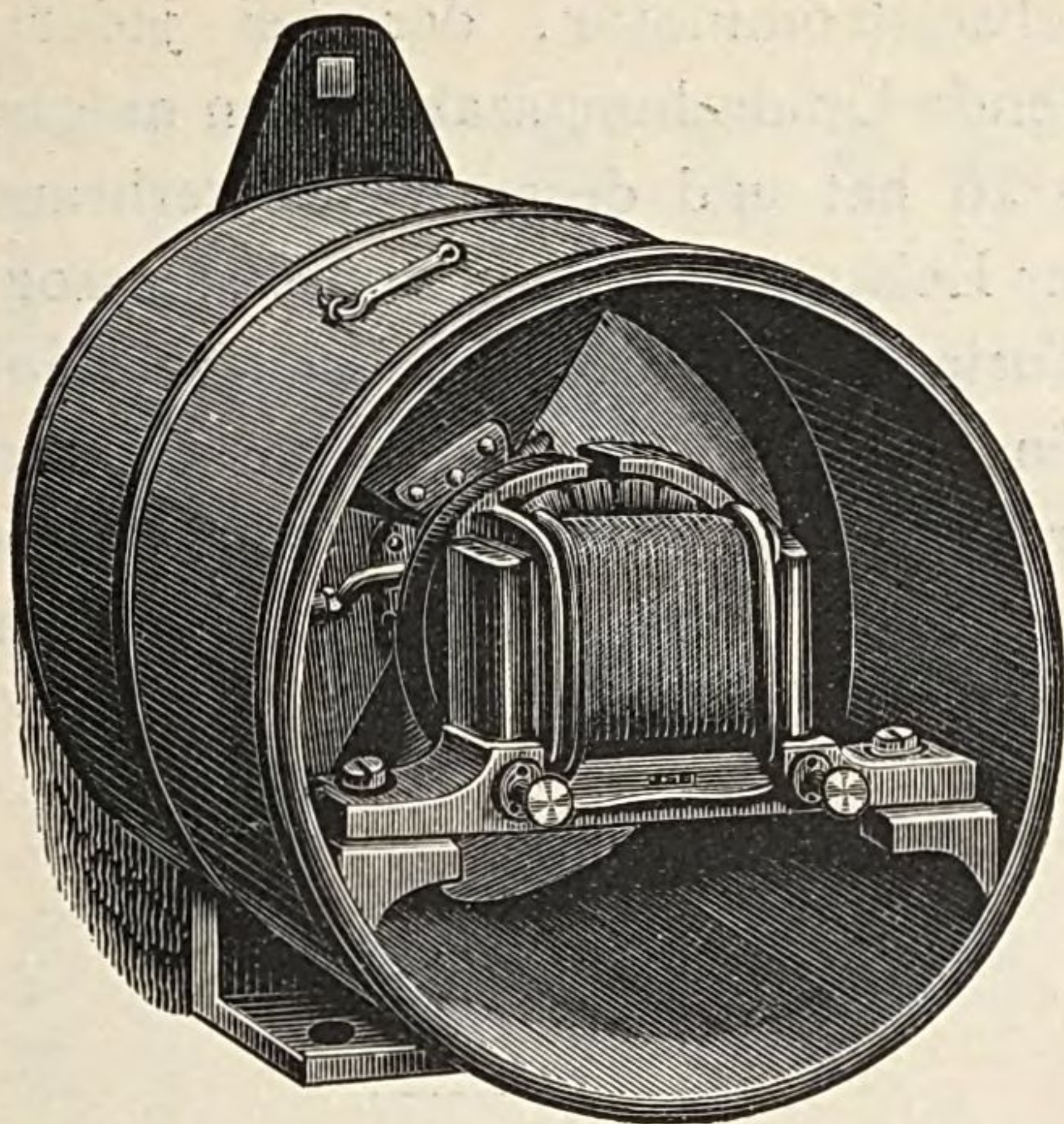
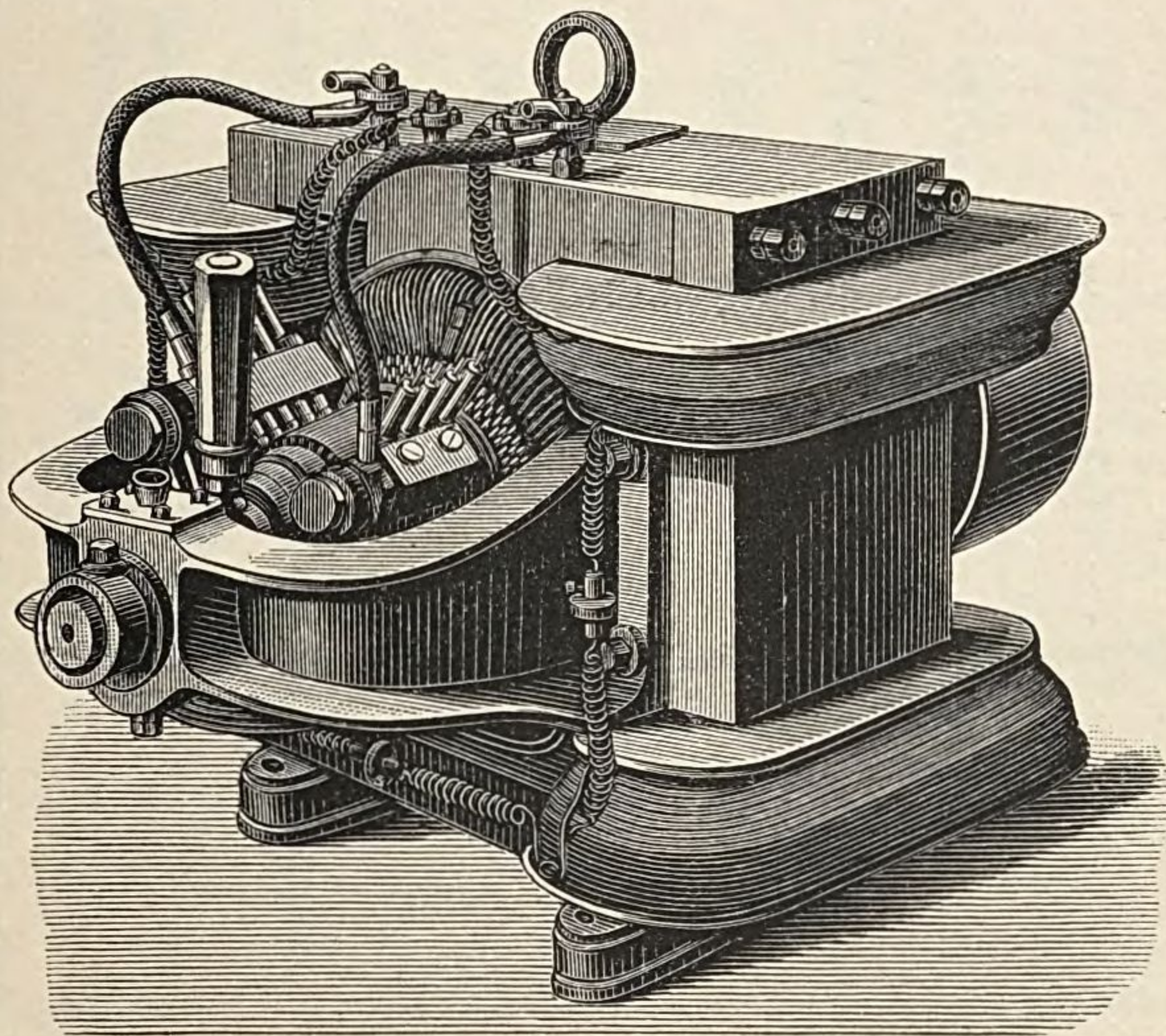


Fig. 26.



werthigen Wechselstrommotor zu erfinden, d. h. also, einen Wechselstrommotor, der bei jeder Belastung gleichbleibende Umdrehungszahl, einen möglichst hohen Wirkungsgrad hat und dessen Stromverbrauch proportional seiner Leistung ist. Der vom Professor Ferraris 1885 in Turin construirte Wechselstrommotor beruht auf zwei in ihren Phasen miteinander verschobenen Wechselströmen, der jedoch eine dritte Leitung mit besonderem Transformator nöthig macht und deshalb wenig Eingang gefunden hat.

Elektromotoren.

Type	Leistung per Secunde in M. K.	Umdrehungen per Minute	Stromverbrauch in Ampère bei		Gewicht des Motors in Kgr.
			65 Volt	100 Volt	
0	2.5	2200	0.7	0.5	6
1	5	1800	1.2	0.8	10
2	12	1500	2.6	1.7	16
3	25	1200	5.4	3.5	34
4	75	1000	16.0	10.4	70
5	150	850	30	19.4	126

Elektromotoren von Sprague.

Pf. St.	Umdrehungen per Minute	Gewicht in Kgr.
$\frac{1}{2}$	1900	65
1	1800	100
2	1650	165
3	1550	220
5	1400	350
$7\frac{1}{2}$	1300	425
10	1200	500
15	1100	700
20	800	900

Dieselben werden mit 110—220 Volt betrieben.

Elektromotoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

Modell-Bezeichnung	Klemmen- Spannung in Volt	Stromverbrauch bei voller Be- lastung in A m p è r e	Leistung in P. S.	Tourenzahl
G. R. 1	100	1.0	$\frac{1}{15}$	2500
G. R. 3	100	3.0	$\frac{1}{4}$	1200
G. R. 5	100	5.5	$\frac{1}{2}$	1000
G. R. 10	100	9.9	1	800
G. R. 20	100	18.8	2	650
G. R. 30	100	28	3	520
G. R. 50	100	45	5	400
G. R. 75	100	72	8	320
G. R. 100	100	108	12	250
G. 25	100	25	$2\frac{1}{2}$	1100
G. 50	100	50	5	1000
G. 100	100	110	12	800
G. T. 200	100	180	20	240
G. T. 300	100	300	35	230
G. T. 400	100	410	48	200
G. T. 500	100	520	60	180

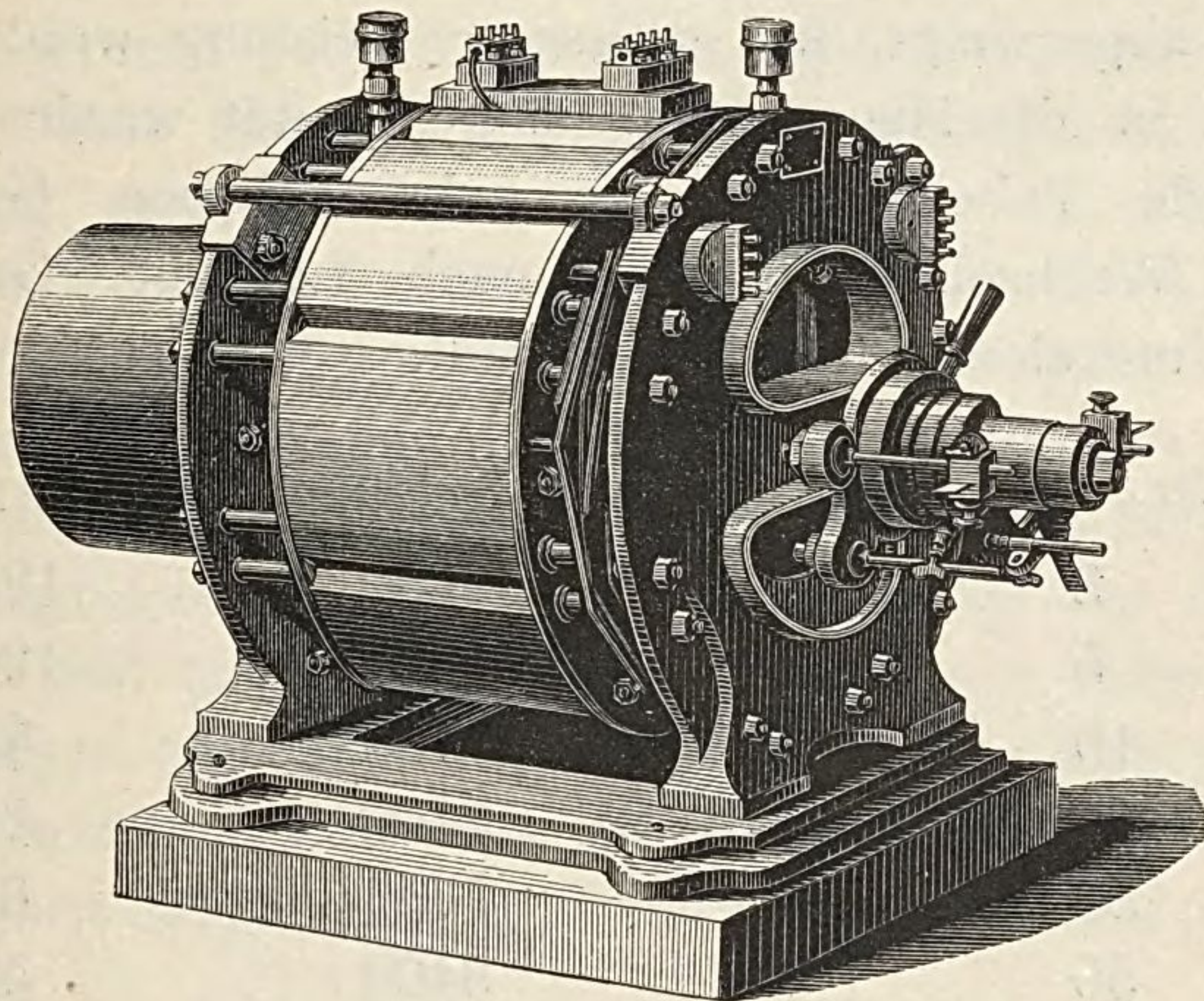
Schuckert & Comp., Nürnberg.**Preise von Secundär-Maschinen für Kraft-
Uebertragung.**

Chiffre.	Leistung in Pferdekraften	Erforderliche elektr. Arbeit in Voltampère.	Totales Güte- verhältniss in %	Umdrehungszahl per Minute	Gewicht in Kgr.	Preis in Mark.	1 Regulator mit Nebenschluss kostet
J L $\frac{1}{5}$	$\frac{1}{15}$	90	55	2000	15	150	20
» $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	340	65	1800	30	250	20
» $\frac{1}{2}$	1	1050	70	1400	100	425	20
» 1	2	1960	78	1000	180	625	20
» 2	3	2760	80	950	300	800	30
» 3	4.5	4000	82	850	350	975	30
» 4	7	6150	84	850	440	1200	30
» 5	10	8680	85	800	680	1600	30
» 6	15	12800	86	800	1020	2200	30
» 6a	20	17000	87	750	1140	2700	30
» 7	30	25400	87	750	1330	3400	30
» 8	45	37600	88	500	2400	4700	30
» 9	70	58000	89	450	3200	7500	50
» 10	100	82000	90	400	6000	10000	55
» 11	170	137000	91	300	9000	16000	55

Die Preise erhöhen sich, wenn die Kraftübertragung mit bedeutend höheren Spannungen als 100 Volt betrieben wird.

Andere Constructeure bauten zwar Wechselstrommotoren mit 2 Leitungen, die jedoch nur dann im Stande waren, Arbeit zu leisten, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit eine bestimmte Grösse hatte, welche in innigem Zusammenhange steht mit der Polwechselzahl der Primärmaschine. Es sind dies die sogenannten

Fig. 27.



synchronen Wechselstrommotoren. Es ist bei denselben nöthig, dass sie selbstthätig diejenige Geschwindigkeitsumdrehung erreichen, mit welcher sie zu arbeiten bestimmt sind und in der sie auch verharren müssen, damit bei sich ändernder Belastung der Synchronismus nicht gestört wird. Den vereinigten Bemühungen der Herren Zipernowsky, Déri und Blathy ist es gelungen, die obigen Bedingungen in zufriedenstellender Weise zu erfüllen. Die Umdrehungszahl ist in diesen

Motoren nur von der Stromwechselzahl abhängig, die immer dieselbe ist und etwa 5000 per Minute beträgt. Der Stromverbrauch ist ohne mechanische Regulirung proportional der Arbeitsleistung, während die Umdrehungs-Geschwindigkeit bei jeder Belastung dieselbe ist. Der Wirkungsgrad beträgt je nach Grösse 80—90%. Diese Motoren, von denen Fig. 27 eine Abbildung giebt, können entweder mit Hilfe von Transformatoren beliebig abgezweigt, bei grösserer Leistung wohl auch direct in die Hauptleitung eingeschaltet werden. Die folgende Tabelle zeigt die gebräuchlichen Grössen dieser Wechselstrommotoren nach Leistung, Gewicht und Umdrehungs-Geschwindigkeit.

	Nr.	Leistung in P. S.	Gewicht	Touren p. M.
M.	3	3	320	1250
»	5	5	420	1250
»	10	10	700	830
»	20	20	1100	830
»	30	30	1700	625
»	50	50	3400	500
»	80	80	6100	360
»	160	160	11000	170.

Die Herren Zipernowski, Déri und Blathy haben unter Nr. 50.908 Cl. 21 ein D. R. P. vom 22. März 1889 auf diesen synchronen Wechselstrommotor erhalten, dessen Einrichtungen daselbst wie folgt beschrieben sind:

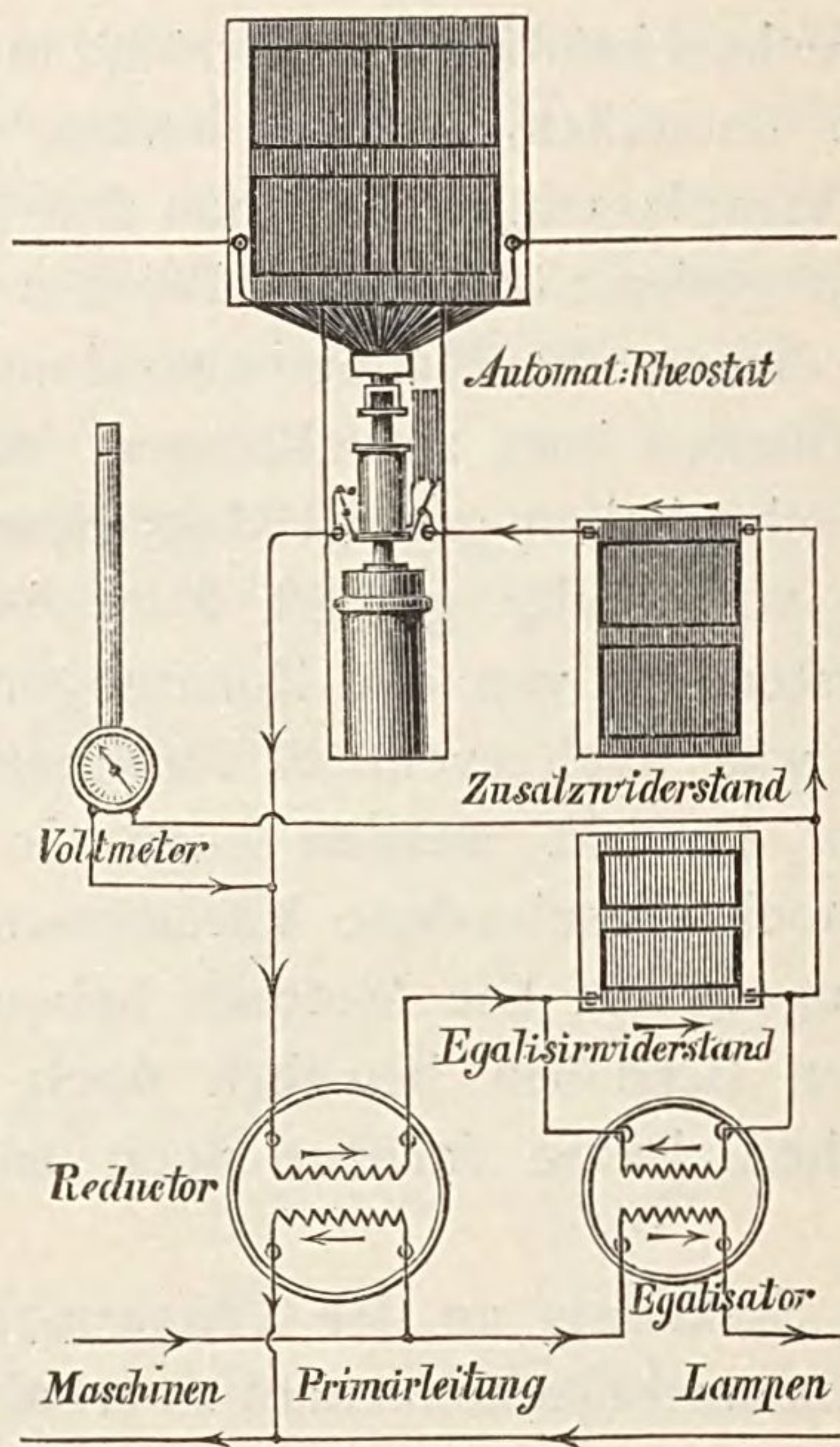
Durch zahlreiche Versuche ist sowohl das Angehen des Motors aus der Ruhe als auch die Er-

haltung des Synchronismus durch besondere Vorkehrungen völlig gesichert. Zur Magnetisirung des Feldes dient ein Commutator, welcher den Wechselstrom gleich richtet. Da jedoch für eine kräftige Magnetisirung der nur kurz dauernde Strom nicht ausreicht und auch bei jedem Wechsel kräftige Extraströme in den Magnetbewicklungen entstehen, welche heftige Funken am Commutator veranlassen, so hat man den Stromwender in 8 Sektoren getheilt und auch 4 Bürsten angewendet, welche dazu dienen, die Magnetbewicklung in gewisser Stellung momentan kurz zu schliessen, und die praktischen Versuche haben gezeigt, dass diese Einrichtung dem Zwecke vollständig genügt. Zum Angehen wird das eine Bürstenpaar von den Zuleitungen von Hand abgeschaltet, was auch eventuell durch einen Schwungkugelregulator bewirkt werden kann. In der Patentschrift sind noch verschiedene Variationen dieser Einrichtungen angegeben. Die Motoren haben sich bereits in mehrfachen Betrieben bewährt, doch stehen dem Verfasser nähere Daten darüber noch nicht zur Verfügung.

Um die Spannung an der Primärmaschine unabhängig vom Stromconsum constant zu erhalten, benützen die letztgenannten Constructeure den in Figur 28 abgebildeten Rheostaten. Derselbe besteht in einem automatischen Widerstands-Regulator, der selbstthätig kleine Aenderungen im Hauptstrom ausgleicht, während bei grösseren Aenderungen von der Hand nachgeholfen wird. Die Regulirung muss derartig sein, dass beim Wechsel der Belastung des Leitungsnetzes die primäre Spannung an den Transformatoren constant

bleibt. Es ist also die Spannung in dem Elektrizitätswerk keine constante Grösse, sondern sie ändert sich mit der Stromstärke in der Hauptleitung. Für diesen

Fig. 28.



Zweck ist in der Centrale ein kleiner Transformator aufgestellt, in der Figur 28 mit Egalisator bezeichnet. An ihm wird die Spannung controlirt und er dient auch dazu, dieselbe constant zu erhalten. Dies geschieht dadurch, dass der automatische Rheostat durch den Strom des Reductors und Egalisators bethätigt wird, und dazu dient, die Stromstärke der Erregermaschinen

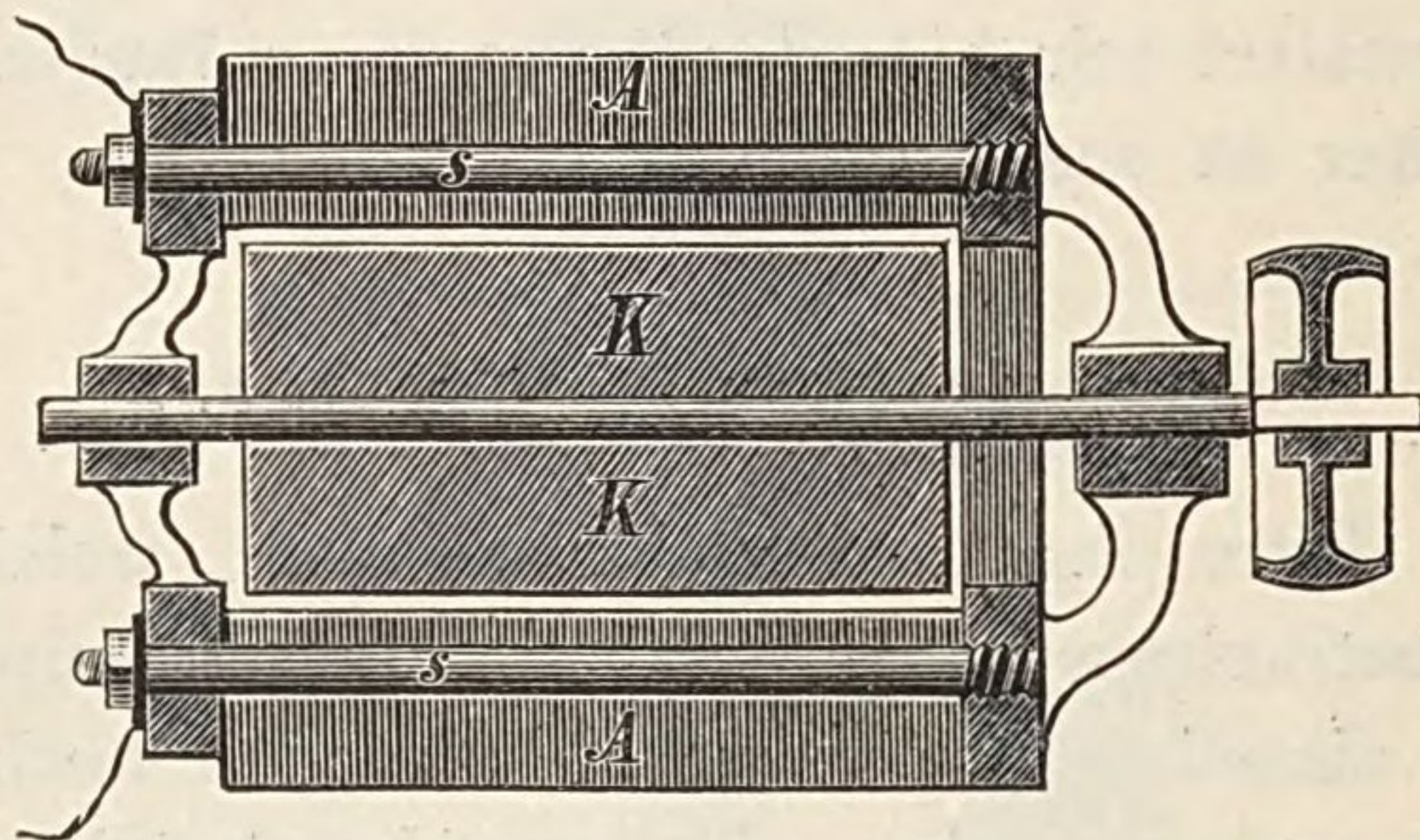
je nach der Spannung zu verändern, indem Widerstände im Magnetisirungs-Stromkreise aus- oder eingeschaltet werden. In welcher Weise die beim Wechselstrom auftretende Selbstinduction bei der Construction von Wechselstrommotoren Berücksichtigung finden muss, gestattet mir hier der Raum dieses Buches nicht, mich weiter zu äussern.

c) Die Drehstrommotoren.

Die dritte Art der Elektromotoren, welche wir hier zu betrachten haben, sind die Drehstrommotoren. Da über dieselben praktische Erfahrungen noch nicht vorliegen, so muss ich mich darauf beschränken, diese der Vollständigkeit halber wenigstens hier kurz zu erwähnen. Für die elektrische Weitübertragung werden die Drehstrommotoren, wie die dazu gehörigen mehrphasigen Wechselstrommaschinen eine besondere Bedeutung erlangen. Sie bedürfen zu ihrem Betriebe dreier Leitungen, gestatten jedoch mit einem Minimum an Querschnitt das Maximum an Kraft zu übertragen. Wenn auch der Querschnitt der Leitungen durch Anwendung hoher Spannungen mit Hilfe der S. 112 beschriebenen Oeltransformatoren gering sein darf, so ist doch die dreifache Anzahl von Isolatoren und die dreifache Anzahl von Verbindungen und Befestigungsstellen nothwendig. D. h. es sind also 6 Drähte für Hin- und Rückleitung zu verlegen gegen 2 Drähte bei Gleichstrom oder bei einfachem Wechselstrom, so dass die Anlage der Leitungen auf grosse Entfernungen sehr kostspielig wird.

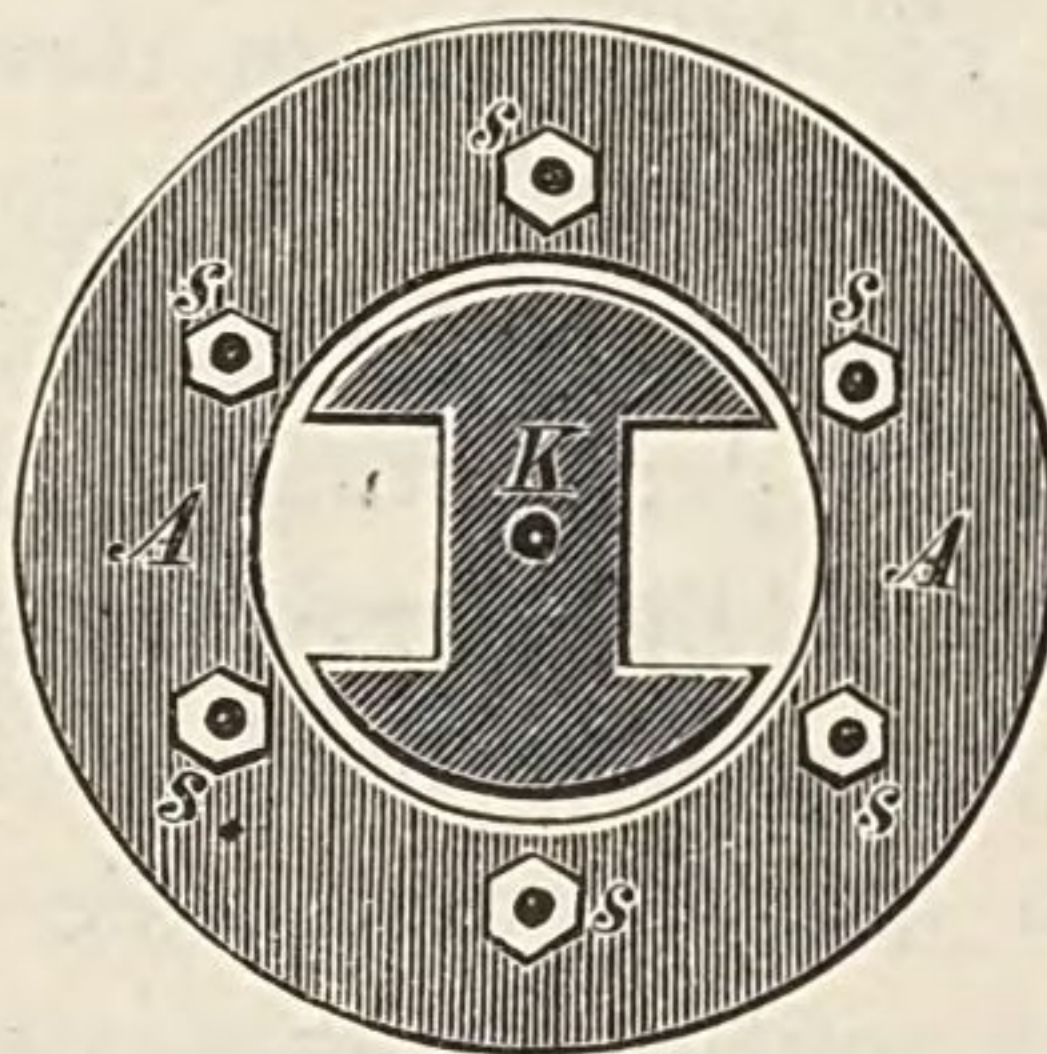
Der Betriebsingenieur des Elektrizitätswerkes zu Rom, Herr de Strens, versicherte mir, dass bei der Leitungsanlage zwischen Tivoli und Rom, von der

Fig. 29.



schon S. 87 und 109 die Rede war, es eines besonderen Studiums bedurft hätte, wie die Leitungen auf der

Fig. 30.



26 Km. langen Strecke am billigsten zu verbinden und zu befestigen sind, damit bei der grossen Anzahl von Drahtbünden und Löthstellen die Herstellungskosten nicht zu hoch werden.

Eine Wechselstromkraftmaschine der gedachten Art,*) welche durch mehrere Wechselströme verschiedener Phasen betrieben wird, ist in den Fig. 29 und 30 abgebildet. Beschreibung und Abbildung in der Patentschrift sind jedoch so dürftig, dass man Näheres derselben nicht entnehmen kann. In dem Eisenkörper K werden durch die magnetisirenden Wechselströme Magnetpole gebildet, die fortwährend ihre Lage ändern und einen beweglich in dem Felde desselben gelagerten Anker zwingen, an dieser Bewegung theilzunehmen. Die Stromleitung des rotirenden Ankers A besteht aus wenigen starken Stäben s aus Kupfer, welche in einem Körper K aus Eisenblechscheiben isolirt gelagert sind. Diese Stäbe stehen an einem Ende in gut leitender Verbindung mit einander, während sie am anderen Ende mit der Stromquelle verbunden sind. Es sind immer doppelt so viele Stäbe vorhanden, als Pole resp. Phasen angewendet werden, also bei 2 Phasen um 90° verschoben 4, bei 3 Phasen um 60° verschoben 6 Stäbe.

Da von der Stromquelle aus auf allen Leitungen bis zur Verbindung der Stäbe gleiches Potential herrscht, so findet durch Verbindung derselben keine Ausgleichung des Stromes mehr statt und sie können daher ohne Störung an dem einen Ende metallisch fest verbunden sein.

5. Die Benützung der elektrischen Kraft zur Erzeugung von Bewegung.

Nachdem wir in den vorausgegangenen Capiteln die Erzeugung des elektrischen Stromes, dessen Fort-

*) S. D. R. P. vom 31. October 1890, Cl. 21, Nr. 56.757, der A. E. Gesellschaft.

leitung und Verwerthung in den elektrischen Kraftmaschinen betrachtet haben, gelangen wir nunmehr zu dem Hauptabschnitt dieses Buches, nämlich zur eigentlichen Uebertragung der elektrischen Kraft und zu deren Benützung für die mannigfachen Zwecke des praktischen Lebens.

Um in geordneter Uebersicht die sovieltgestaltige Verwendung kennen zu lernen, können wir dieselbe in folgende drei Abschnitte zerlegen:

- a) stabile Anlagen,
- b) halbtransportable Anlagen,
- c) transportable Anlagen.

a) Die stabilen Anlagen.

Zu denselben gehören alle Arten der elektrischen Kraftübertragung, bei welchen der die Kraft abgebende Elektromotor unverändert auf seinem Platze bleibt; wie z. B. der Betrieb von Mühlen, Fabriken und Werkzeugmaschinen aller Art, als auch Personen- und Lastenaufzüge. So lange man für diese Betriebe nur Versuche im Kleinen anstellte, etwa von 6—10 P. S., hatte man nicht mehr als 50% Nutzeffect erreicht. Der Maschinenfabrik Oerlikon war es jedoch vorbehalten, besonders durch den kräftigen Bau ihrer Elektromotoren bei der Anlage zwischen Solothurn und Kriessstatten einen nachgewiesenen Nutzeffect von 75% zu erzielen. Im Nachstehenden geben wir eine Beschreibung der Anlage sowohl, als auch der an derselben angestellten Versuche.*)

*) Nach einem Separat-Abdruck aus der schweizerischen Bauzeitung vom Januar 1888, welcher dem Verfasser von der Maschinenfabrik Oerlikon freundlichst zur Verfügung gestellt wurde.

Zu Kriegsstätten befindet sich eine Wasserkraft, die zwischen 30 und 50 P. S. leisten kann. Durch elektrische Uebertragung wird dieselbe zum Betriebe der 8 Km. entfernten Werkstätten des Herrn Müller-Haiber zu Solothurn benützt. Zum Betriebe dient eine Turbine, welche zwei hintereinander geschaltete Dynamos antreibt, welche 15—18 Ampère und 1250 Volt liefert. Die secundären Maschinen oder Elektromotoren sind im Princip den ersteren gleich, doch etwas geringer an Leistung und auch hintereinander geschaltet. Die oberirdische Leitung ist aus 6 Mm. blankem Kupferdraht hergestellt.

Um bei Störungen oder in Fällen, wo wenig Kraft gebraucht wird, auch mit einer Maschine nur arbeiten zu können, ist eine dritte Leitung als Reserveleitung vorhanden, die jedoch für gewöhnlich ausser Function ist.

Die Anlage wurde im December 1886 in Betrieb genommen und hat seit dieser Zeit ohne Störungen functionirt. Für die nachstehend aufgeführten Messungsergebnisse wurden die folgenden Formeln zur Berechnung angewendet: 1. Die in der Zeit 1 zu leistende Arbeit in der Primär-Maschine ist $= E_1 \cdot i$, wo E_1 die elektromotorische Kraft der Primär-Maschine bedeutet. 2. Die zur Magnetisirung der Eisentheile der Maschine nutzlos vergeudete Kraft ist $= a_1$. 3. Die Verluste durch mechanische Reibung in den Lagern und dem Collector etc. ist $= \alpha_1$.

Es besteht demnach die Gleichung:

$$A_1 = E_1 \cdot i + a_1 + \alpha_1.$$

Der elektrische Nutzeffect der Primär-Maschine ist

$$= \frac{E_1 \cdot i}{A_1}.$$

Ein Theil dieser Arbeit geht durch Erwärmung der Primär-Maschine verloren und resultirt aus dem Widerstande b_1 . Er ist demnach $= i^2 \cdot w_1$.

Ein anderer Theil geht ausserhalb der Maschine in den Leitungen verloren.

Nennt man $\triangle P_1$ die Klemmenspannung der Primär-Maschine, so ist der Verlust in den Leitungen $= \triangle P_1 \cdot i$.

Mithin ist

$$E_1 \cdot i = i^2 \cdot w_1 + \triangle P_1 \cdot i$$

oder

$$E_1 = \triangle P_1 + i \cdot w_1.$$

Man kann auch setzen:

$$A_1 = \triangle P_1 \cdot i + i^2 \cdot w_1 + a_1 + \alpha_1.$$

Der Quotient $\frac{\triangle P_1 \cdot i}{A_1}$ stellt demnach den wirthschaftlichen Wirkungsgrad der Primär-Maschine dar.

Nennt man $\triangle P_2$ die Klemmspannung der Secundär-Maschine und W den Widerstand der ganzen Leitung zwischen Vorder- und Hintermaschine, so hat man zunächst

$$i \cdot W = \triangle P_1 - \triangle P_2.$$

Die Arbeitsleistung innerhalb der Secundär-Maschine ist $= \triangle P_2 \cdot i$.

Diese setzt sich zusammen aus dem durch Wärme verlorenen Theil im Widerstande w_2 , der also gleich ist $i^2 \cdot w_2$ der Nutzarbeit A_2 , der analogen Arbeit a_2

und α_2 und bei der Primär-Maschine. Wir haben dann $\Delta P_2 \cdot i = i_2 \cdot w_2 + A_2 + a_2 + \alpha_2$. Da $\Delta P_2 - i \cdot w_2 =$ der elektromotorischen Kraft E_2 ist, so ist $E_2 \cdot i = A_2 + a_2 + \alpha_2$ und $\frac{A_2}{\Delta P_2 \cdot i}$ ist gleich dem wirthschaftlichen Wirkungsgrad des Elektromotors und $\frac{A_2}{E_2 \cdot i} =$ dem elektrischen Nutzeffect desselben.

Der Nutzeffect der elektrischen Arbeitsübertragung zwischen Vorder- und Hintermaschine ist demnach

$$= \frac{A_2}{A_1}.$$

Die verschiedenen Nutzeffecte können demnach wie folgt ausgedrückt werden:

$\frac{N_1 = \Delta \cdot P_1 \cdot i}{A_1} =$ dem wirthschaftlichen Wirkungsgrad der Vordermaschine,

$N_2 = \frac{A_2}{\Delta P_2 \cdot i} =$ dem wirthschaftlichen Wirkungsgrad der Hintermaschine,

$n_1 = \frac{E_1 \cdot i}{A_1} =$ elektrischer Nutzeffect der Primär-Maschine,

$n_2 = \frac{A_2}{E_2 \cdot i} =$ elektrischer Nutzeffect der Secundär-Maschine und

$N = \frac{A_2}{A_1} =$ Nutzeffect der elektrischen Arbeitsübertragung.

Diese verschiedenen Nutzeffecte stehen demnach in folgenden Beziehungen zu einander:

$$N = N_1 \cdot N_2 \cdot \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \quad \text{und} \quad N = n_1 \cdot n_2 \cdot \frac{E_2}{E_1}.$$

Die Messung der Stromstärke an den beiden Orten ergab, dass keine messbaren Verluste vorhanden waren, die Isolation also eine vollkommene sei.

Die Ergebnisse der mit grosser Genauigkeit ausgeführten Messungen sind in den nachstehenden Tabellen mitgetheilt. Die Versuche fanden unter Leitung des Herrn Professor Weber aus Zürich statt, sie sind in vielen Fachblättern veröffentlicht worden, woselbst auch Näheres über die Messmethoden zu finden ist.

Die Ergebnisse der im praktischen Betriebe vollzogenen Messungen lieferten den Beweis, dass die Dynamos und Elektromotoren mit 87—89% wirthschaftlichem Wirkungsgrad arbeiten.

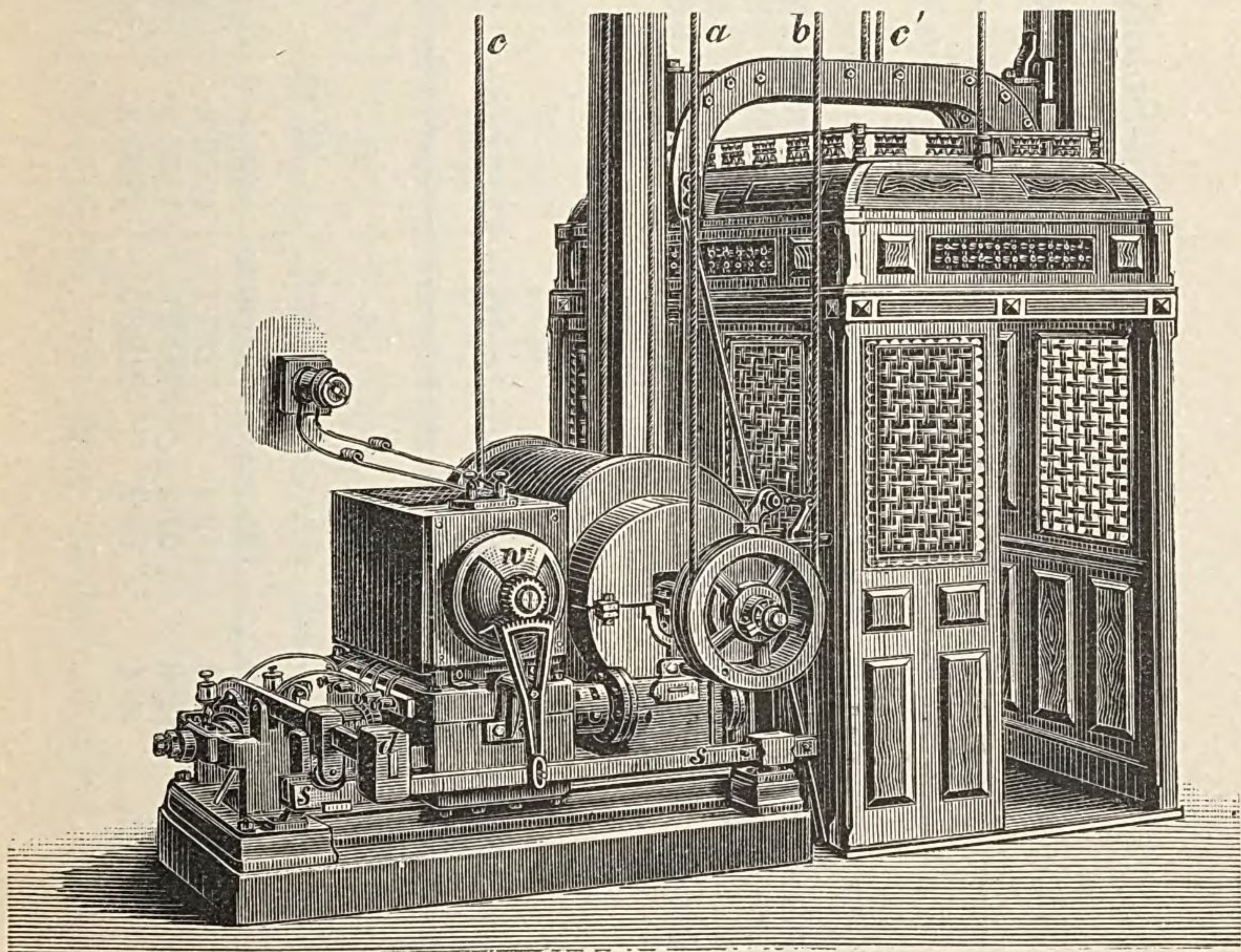
Die Isolation der Leitungen war selbst bei 2000 Volt sehr gut.

Der Nutzeffect der Arbeitsübertragung war bei voller Belastung, unter welcher die Vordermaschine 31 P. S. absorbirte, fast genau 75%, derselbe fällt auf circa 68%, wenn die Vordermaschine nur 17—18 P. S. braucht und nur 1 Dynamo und 1 Elektromotor arbeitet. Diese Resultate sind um so bemerkenswerther, als noch niemals zuvor ein so hoher Nutzeffect einer elektrischen Kraftübertragung erreicht wurde.

In vielen Fällen haben die Eigenthümlichkeiten des Elektromotors, nämlich die hohe Umdrehungs-

Geschwindigkeit der Welle, das oft erforderliche langsame Angehen und langsame Anhalten längere Zeit hindurch viele Schwierigkeiten gemacht, besonders bei der Anwendung derselben für Personen- und Lastenaufzüge. In ausgezeichneter Weise sind diese Schwierigkeiten

Fig. 31.



von der Firma Otis Brothers zu New-York und Berlin überwunden worden.

Die Einrichtung des elektrischen Aufzuges dieser Weltfirma ist in der Figur 31 ersichtlich gemacht. Die elegante Cabine hängt an dem Drahtseil cc_1 , welches durch den Elektromotor auf einer Trommel

Elektrische Kraftübertragung Kriegstätten-Solothurn.

A. Die direct gemessenen elektrischen Grössen.

Zeit	ΔP	ΔP_2	i_1	i_2	w_1	w_2	W
11. Oct. 3 ^h 51—53'	1177.7 V	1042.0 V	14.204 A	14.177 A	3.797 Ω	3.770 Ω	9.228 Ω
11. Oct. 4 ^h 14—16'	1186.8	1066.9	13.245	13.286	3.797	3.770	9.228
12. Oct. 1 ^h 44—46'	1753.3	1655.9	11.474	11.420	7.251	7.060	9.044
12. Oct. 1 ^h 7—9'	2057.9	1965.2	9.785	9.785	7.240	7.042	9.040
							Lufttemp. = = 7.50 Lufttemp. = = 3.20

B. Die abgeleiteten elektrischen Grössen.

Zeit	$\bar{i} \cdot W$	$\Delta P_1 - \Delta P_2$	E_1	E_2	$E_1 - E_2$	$\bar{i} : (W + w_1 + w_2)$
11. Oct. 3 ^h 51—53'	130.9 V	135.7 V	1231.6 V	988.6 V	243.0 V	238.0 V
11. Oct. 4 ^h 14—16'	122.4	119.9	1237.1	1016.8	220.0	222.8
12. Oct. 1 ^h 44—46'	103.6	97.4	1836.5	1575.2	261.2	267.4
12. Oct. 2 ^h 7—9'	88.4	92.7	2128.6	1896.3	232.4	228.2

C. Die elektrischen und mechanischen Arbeiten, in Pferdestärken ausgedrückt.

$$(1 \text{ HP} = 735.4 \text{ Volt-Ampère.})$$

Zeit		$\Delta P_1 \cdot i_1$	$\Delta P_2 \cdot i_2$	$E_1 \cdot i_1$	$E_2 \cdot i_2$	A_1	A_2
11. Oct.	3 ^h 51—53'	22.75 HP	20.09 HP	23.76 HP	19.06 HP	26.17 HP	17.85 HP
11. Oct.	4 ^h 14—16'	21.48	19.28	22.28	18.37	24.56	16.74
12. Oct.	1 ^h 44—46'	27.36	25.71	28.66	24.46	30.85	23.21
12. Oct.	2 ^h 7—9'	27.38	26.15	28.32	25.23	30.85	23.05

D. Die verschiedenen Nutzeffekte.

Zeit		N_1	N_2	n_1	n_2	N	
11. Oct.	3 ^h 51—53'	0.869	0.888	0.903	0.936	0.682	1 prim. Maschine
11. Oct.	4 ^h 14—16'	0.871	0.868	0.907	0.911	0.682	u. 1 sec. Maschine
12. Oct.	1 ^h 44—46'	0.887	0.903	0.929	0.949	0.752	2 prim. Maschinen
12. Oct.	3 ^h 7—9'	0.888	0.881	0.918	0.913	0.747	u. 2 sec. Maschinen

auf- und abgewunden wird. Das Steuerseil ab ist an der Steuerung ss befestigt und geht durch die Cabine hindurch. Durch die Bewegung dieses Seils wird ein Widerstand w aus- und eingeschaltet und in der ersten Stellung des Contactarmes an diesem Widerstande durch die Steuerung zugleich die Bremse d in Thätigkeit gesetzt, sodass beim Anhalten der Cabine sowohl an den Endpunkten des Aufzugschachtes als auch in den verschiedenen Stockwerken sowohl das Angehen als das Anhalten äusserst langsam und ruhig von Statten geht. Die Cabine wird durch zwei Führungsschienen aus Holz in senkrechter Lage frei beweglich erhalten. In höchst genialer Weise ist das Herabfallen der Cabine mit absoluter Sicherheit verhindert.

Ein Querbalken über der Cabine umfasst die Führungshölzer und in dessen Oeffnungen befinden sich Bronzekeile. Dieselben werden durch ein regulirbares Hebelwerk für gewöhnlich derart festgehalten, dass sie den Gang der Cabine nicht behindern. Sobald sich das Drahtseil jedoch auch nur um 1 Cm. reckt oder reisst, löst das Hebelwerk die Bronzekeile aus und die Cabine wird momentan an der Stelle, wo sie sich gerade befindet, so festgehalten, dass sie nicht im mindesten rutschen oder nach unten fallen kann. Sollte durch einen Zufall die Cabine durch die Theile festgehalten werden, so kann der Führer trotzdem nach dem nächsthöher gelegenen Stockwerk hinauffahren und dann die Theile von Neuem durch eine Schraube reguliren. Der höheren Sicherheit wegen verwendet man für gewöhnlich ein Band, das aus mehreren Drahtseilen besteht, bei deren sorgfältiger Ueberwachung

jede Betriebsstörung und jede Gefahr für das Leben absolut ausgeschlossen wird. Diese Aufzüge functioniren schneller, sicherer, leichter und ruhiger als die sonst üblichen hydraulischen Aufzüge für den Personenverkehr. Sie sind auch in vielen Fällen leichter anzubringen, sodass die Behörden überall gerne ihre Anwendung gestatten.

An dieser Stelle möchte ich eine Bemerkung einflechten, über den Nutzen, den die Elektromotoren im Allgemeinen der kleinen Industrie angeblich bringen sollen. Man ist im Allgemeinen der Ansicht, dass der Motor des kleinen Mannes ein Heilmittel in der Volkswirtschaft sei; jedoch mit Unrecht, wie Herr Arthur Wilke kürzlich erst ausgeführt hat. Die geringe Verbilligung der mechanischen Triebkraft kann dem allgemeinen Fortkommen des kleinen Handwerkers nicht sehr viel Nutzen bringen. Die andern hier in Frage kommenden Bedingungen von weit grösserer Bedeutung als die vorgenannten können allein ausschlaggebend sein, im Gegentheil, die Elektrizität ist ihrer ganzen Natur nach dazu berufen, alles Kleingewerbe und jeden Kleinbetrieb zu vernichten, soweit dieser nicht von der persönlichen Tüchtigkeit und Fertigkeit, die eine Organisation im Grossen nicht ersetzen kann, abhängig ist. Wo diese Bedingungen nicht erforderlich sind, verfällt jegliche Industrie dem Grosscapital und der mit ihm verbündeten Elektrizität. Sie wird je länger je mehr dem kleineren Gewerbetreibenden den Boden entziehen, der nicht unter den günstigen technischen und geschäftlichen Bedingungen arbeiten kann, wie

ein mit den rationellsten Hilfsmitteln ausgestattetes grosses Werk.

Gerade das Eindringen der Elektrizität in alle Zweige der Industrie wird diesen Vernichtungskampf befördern, weil sie neue Verfahren möglich macht, die grosse materielle und intellectuelle Anlagecapitalien erheischen. Sehr lehrreich in dieser Beziehung ist auch die von Herrn Wilke verfasste kleine Schrift: »Das Elektromonopol«, Hartleben, Wien.

b) Halbtransportable Anlagen.

Zu denselben gehören alle Vorkehrungen der elektrischen Kraftübertragung, bei denen der Motor je nach Bedürfniss von seinem Standort entfernt werden kann, wie z. B. Lastenkrähne, Bohrmaschinen, Feuer-spritzen, Bauaufzüge und dergl.

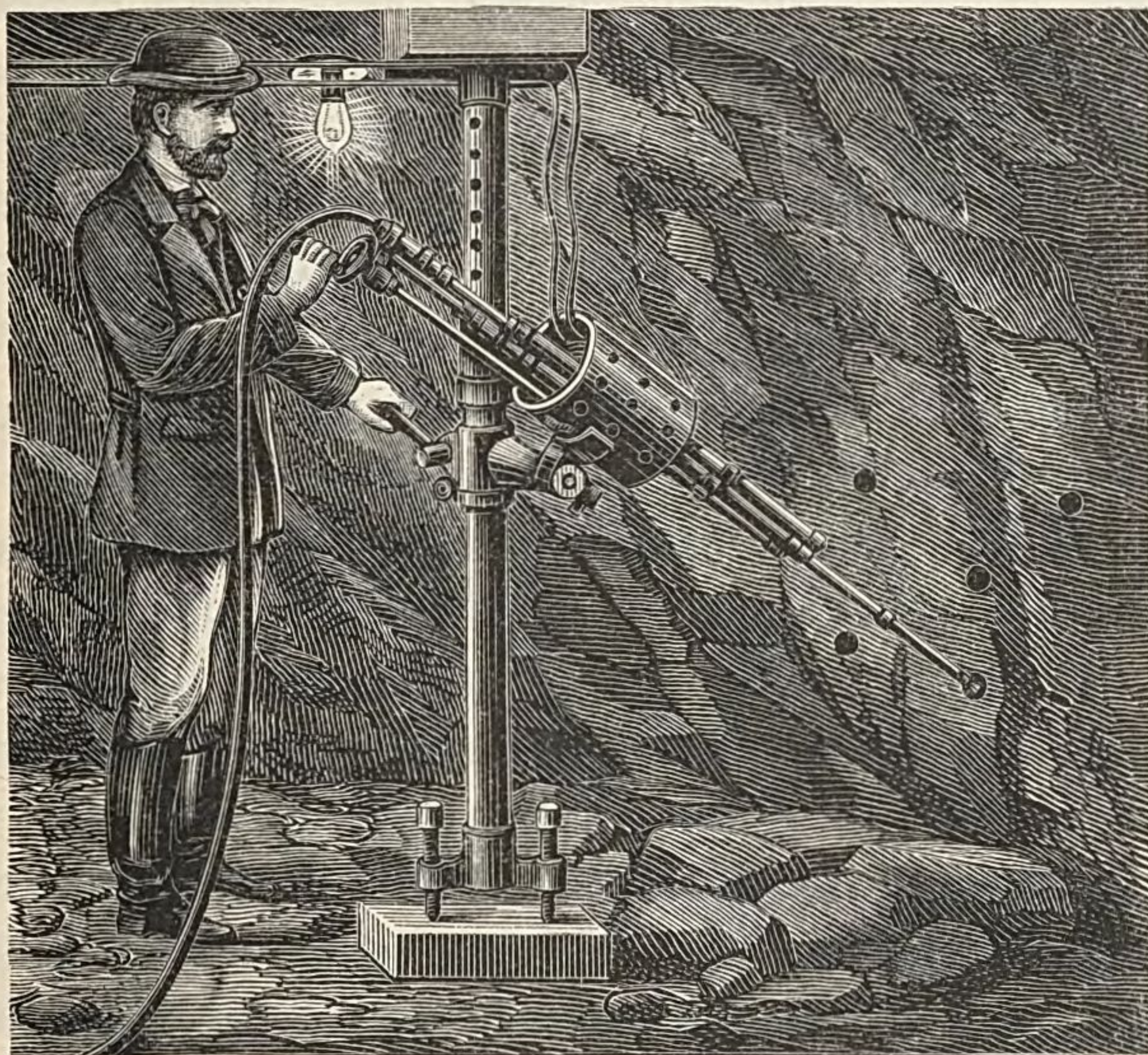
Eine besondere Schwierigkeit bei dieser Art von Anlagen ist die Zuführung des elektrischen Stromes zum Motor. Da jedoch eine isolirte elektrische Leitung sich allen localen Verhältnissen sehr leicht anpassen lässt, so ist z. B. für die Bewegung von Steinbohrern die Anbringung der Leitungen sowohl als des Elektromotors sehr viel einfacher und leichter als die Verlegung der Röhren, welche man bisher für den Betrieb mit comprimierter Luft nöthig hatte.

In den grösseren Städten, welche allgemein in den letzten Jahren elektrisches Licht einführen, in deren Strassen also elektrische Kabel vielfach vorhanden sind, kann man für vorübergehende Zwecke leicht aus denselben oder nöthigenfalls von den Hausanschlüssen den nöthigen Strom abzweigen.

Die Figur 32 lässt erkennen, in wie einfacher und leichter Weise die elektrisch betriebenen Bohrer beim Tunnelbau sich anwenden lassen.

Die Neuerungen auf diesem Gebiete wachsen allwöchentlich und sie können in Folge dessen hier nur

Fig. 32.



erwähnt oder in kurzen Zügen beschrieben werden. Wo man allerdings Accumulatoren zur Verfügung hat, ist es sehr leicht, den nöthigen Strom mitzuführen. Allerdings ist das hohe Gewicht der bisherigen Blei-Accumulatoren dieser Anwendungsart nicht gerade günstig.

Je mehr sich die Anwendung der Elektrizität ausbreitet, um so grösser wird die mannigfache Anwen-

dung des elektrischen Stromes für vorübergehende Zwecke sich gestalten. Bergbau, Industrie und Landwirtschaft machen sich dieselbe bereits zu Nutzen, und so hat die Firma Ganz & Co. speciell für ungarische Verhältnisse eine fahrbare Anlage construirt, um das Dreschen des Getreides auf dem Felde zu bewirken. Je nach Umständen wird der Strom entweder auch auf einem fahrbaren Wagen oder durch eine stabile Anlage erzeugt; während der Elektromotor mit der Dreschmaschine in die Nähe des zu dreschenden Getreide-Quantums gebracht wird. — Die Bewegung von Rammen zur Herstellung von Spundwänden bei Wasserbauten, das Aufziehen von Kalk, Steinen und Wasser für Hochbauten u. s. w. wird je länger je mehr mit Hilfe der Elektrizität besorgt, weil es eben keine andere Triebkraft und keinen anderen Krafterzeuger giebt, als die Elektrizität und den Elektromotor, welche sich leicht und schnell allen Verhältnissen anpassen lassen. Besonders auch für die Zwecke der Hausindustrie sind die Elektromotoren kleinster Art sehr gut verwendbar und bereits besonders in der Zahntechnik im Gebrauch. Sie eignen sich auch sehr wohl zum Betrieb von Nähmaschinen, wozu je nach der Grösse der Maschine und nach der Art des Stoffes, der bearbeitet werden soll, $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{20}$ P. S. hinreichend ist. Für diese kleinen Zwecke wird man unter Umständen als Stromquelle mit Vortheil Accumulatoren oder galvanische Elemente benützen.

c) Transportable Anlagen.

Die bei weitem ausgedehnteste Anwendung der elektrischen Triebkraft findet für Locomobile-, resp.

Transport-Zwecke statt und zwar sowohl zum Betriebe von Land- als auch von Wasserfahrzeugen. Welch ungeheures Gebiet allein die Strassenbahnen hierzu bieten, werden einige Zahlen darthun, die amerikanischen Verhältnissen entnommen sind. Gegen Ende 1887 befanden sich in den Vereinigten Staaten Nordamerikas etwa 25.000 Strassenbahnwagen in Gebrauch, zu denen nicht weniger als 120.000 Pferde nothwendig sind. Von dieser Zahl werden alljährlich 20.000 unseres nützlichsten Hausthieres für den Strassenbetrieb durch Ueberanstrengung unbrauchbar. Diese Ziffern stimmen auch mit europäischen Verhältnissen überein. Sie werden jeden mit Strassenbahnbetrieben beschäftigten Ingenieur veranlassen, sobald als möglich dieser Thierquälerei ein Ende zu machen. Es ist ein alter Erfahrungssatz, dass das Leben eines Pferdes im Strassenbahnbetriebe durch die harte Arbeit auf 4 Jahre verkürzt wird, obgleich es niemals mehr als vier Stunden per Tag im Strange geht. Dampf, comprimirt Luft, Gas, Natron-Locomotiven haben sich als wenig nützlich in diesem Betriebe erwiesen und wenn auch hier und da Verbesserungen noch gemacht sind, so gehört die Zukunft doch allein der elektrischen Triebkraft, besonders nachdem sich auch der Drahtseilbetrieb als wenig vortheilhaft bewährt hat. Bei demselben gehen nämlich allein für die Bewegung des Kabels an sich 70—80 Prozent der ganzen nutzbaren Kraft verloren, so dass nur 30 Prozent höchstens für Bewegung der Wagen übrig bleiben, während der elektrische Betrieb einen Wirkungsgrad von über 50 Prozent möglich macht, wie dies an dem Betriebe der elektrischen Bahn

von Frankfurt a. M. nach Offenbach nachgewiesen ist. Die Linie ist 6.6 Km. lang, hat Doppelgeleise und Schienen mit Rinnen. Der elektrische Widerstand der Leitung beträgt 1.6 Ohm. Zu den Versuchen wurden zwei Wagen gewählt, von denen der eine mit einem Motor versehen und der andere an den ersten angehängt war. Das Gewicht beider Wagen betrug bei voller Belastung 8350 K.

Bei normaler Geschwindigkeit war die Leistung für den besetzten Zug:

	am Wagen	am Stromerzeuger
In der Ebene	3.92 P. S.	6.56 P. S.
In der Steigung 1:45, gerade		
Strecke	8.11 »	13.4 »
In der Steigung 1:45 in der		
Kurve	9.83 »	16.9 »
Beim Anfahren in einer Nei-		
gung 1:150	10.3 »	26.8 »

Die elektrischen Bahnen.

Die Anwendung des elektrischen Stromes als Triebkraft für Landfahrzeuge datirt seit dem Jahre 1879, in welchem Werner Siemens seine erste elektrische Bahn auf der Berliner Gewerbe-Ausstellung vorführte, der in 1881 die Strassenbahn in Lichterfelde bei Berlin folgte.

Seit jener Zeit hat man die elektrische Zugkraft für locomobile Zwecke aller Art angewendet und zwar sowohl zum Ersatz für Pferde oder sonstige Zugthiere, als auch an Stelle von Dampfkraft oder des Drahtseilbetriebes.

Heute sind bereits nicht allein Strassenbahnen zu ebener Erde, sondern auch erhöhte und unterirdische Stadtbahnen, Grubenbahnen und Omnibuswagen elektrisch betrieben, und statt der Drahtseilbahnen hat man zur Förderung von Material, Erzen etc. mit Vorthail sogenannte Telepher-Linien erbaut.

Der elektrische Betrieb kann mit Vorthail nicht allein gegen Pferdekraft concurriren, sondern erweist sich auch auf Stadtbahnen mit starker Frequenz bei weitem vortheilhafter, als derjenige mit Dampf-Locomotiven.

Herr A. L. Lineff in London hat in dieser Beziehung interessante Rechnungen angestellt, von denen wir einige hier wiedergeben wollen.

Besonders vortheilhaft ist das System mit directer Zuführung des Stromes von der Erzeugungsstelle zu dem zu bewegendenden Wagen. Dies liegt darin, dass eine stabile grosse Dampfmaschine sehr ökonomisch arbeiten kann, so dass die Pferdekraftstunde auf nur 8—10 Pfg. zu stehen kommt. Was kostet hingegen die Kraft eines Pferdes? fragt Herr Lineff.*)

Bisher war es bei den Pferdebahnen üblich, nach Wagenmeilen, resp. Kilometern die Triebkraft zu rechnen und die North Metropolitan Tramways in London berechneten z. B. für 1886 die Triebkosten per car-mile auf nur 4.03 d., die man gewöhnlich jedoch mit 5 d. anzunehmen hat.

*) S. Electrical Tramway. The Lineth System London 1888. Alfred Smithens und Proceedings of the Institution of Civil Engineers, on the Bessbrook and Newry Tramway.

Nimmt man durchschnittlich die Belastung eines Wagens per mile mit 6·8 Passagieren und 2 Beamten, so ist die Belastung, die Person zu 160 lbs. gerechnet, $= 8·8 \times 160 = 1·408 \text{ lbs.} = 0·63 \text{ Tons}$ + car mit 2·4 tons, oder der belastete Wagen wiegt rund 3 tons. Die Zugkraft per ton sei 25 lbs. und die mittlere Geschwindigkeit 4·5 miles per Stunde, so hat man

$$\frac{75 \times 4·5 \times 5·280}{60 \times 33·000} = 0·91 \text{ H. P. Stunden, oder für}$$

$$1 \text{ mile } \frac{0·91}{4·5} = 0·2 \text{ H. P. Stunden, die also 5 d. kosten,}$$

es stellt sich daher die Kraftleistung für 1 H. P. auf $\frac{4·03}{0·2} = 25 \text{ d.}$

Die Dampfkraft an sich ist also etwa $2\frac{1}{2}$ mal billiger. Trotzdem können Locomotiven nur unter gewissen Verhältnissen vortheilhaft gegen Pferdebetrieb concurriren, und zwar aus folgenden Gründen: das Gewicht z. B. eines leeren Zuges der unterirdischen Stadtbahn zu London beträgt ca. 90 tons, der Locomotive 47 tons, der Passagiere bei voller Besetzung der Plätze 31 tons. Die durchschnittliche Zahl der Passagiere per Zug-mile ist jedoch nur 27 oder $= 1·5 \text{ tons}$. Angenommen, dass in Wirklichkeit noch 50 Prozent mehr Personen zu rechnen sind, so beträgt die nützliche Belastung 2·25 tons oder

$$= \frac{\text{nützliche Last}}{\text{tode Last}} = \frac{2·25}{1·39} = 1·6 \text{ Prozent.}$$

Wenn unter solchen Verhältnissen die Feuerung per Zug-mile noch nicht 30 lbs. Kohle, resp. Coaks

beträgt, so ist doch die damit geleistete nutzbare Arbeit sehr gering.

Nach Mr. Jeans*) betrugen die Kosten 1885 bei den folgenden beiden Bahnen:

	L o n d o n	
	North-Western Prozent	Great-Western Prozent
Gehalte, Löhne	57·0	56·7
Feuerung	35·2	34·2
Wasser	1·0	4·6
Oel etc.	6·7	4·4
	99·9	99·9

Nach den sehr ausführlichen Jahresberichten der englischen Pferdebahn-Gesellschaften stellen sich die Auslagen des Betriebes in Prozenten per Jahr wie folgt:

Pferde	56·38
Kutscherlöhne	10·94
Reparatur der Wagen	4·2
Unterhaltung der Schienen	3·21
Conducteurs, Beamte	15·47
Director, gener. Ausgaben	3·7
Zinsen, Gebühren	2·24
Unfallentschädigung etc.	0·62
Notar	0·66
Lizenzen, Polizei	0·49
Steuern	2·02

in Summe 100

*) Mr. J. S. Jeans »Railway Problems«.

Von den gesammten Einnahmen betragen
 die Auslagen 80·2 Prozent
 und der Gewinn 9·8 »

Per Car-mile entfällt:

total Ausgaben	11·85 d
Einnahmen	14·77 d.

Aus obigen Zahlen geht also hervor, dass auf die Pferde inclusive Abnützung allein circa 55⁰/₀ der ganzen Unkosten entfallen, während die Unterhaltung der Pferde inclusive Futterpersonal per Car-mile 7—10 d. je nach der Grösse des Betriebes beträgt.

Wie dem Verfasser durch die Herren Reckenzaun und Huber seinerzeit mitgetheilt wurde, betrug die Ersparniss des Accumulatorenbetriebes in Philadelphia respective Hamburg etwa 15⁰/₀ gegen Pferdebetrieb schon bei Versuchen mit wenigen Wagen in einem Zeitraume von 12, respective 9 Monaten. Es ist also mit Sicherheit darauf zu rechnen, dass in grossem Betriebe mit zahlreichen Wagen erhebliche Ersparnisse zu erzielen sind.

Die kleinen Dampf-Locomotiven für kurze Stadtzüge arbeiten nicht ökonomisch, und da grössere Maschinen zwar billiger arbeiten, jedoch die todte Last unnütz vermehren, so giebt es nur ein Mittel zur Verminderung der Betriebskosten, nämlich die Einführung des elektrischen Betriebes mit wenig Wagen in kurzen Zeiträumen sich folgend.

Beim elektrischen Betriebe wird die Kraft billig auf einer oder wenigen Stellen erzeugt, eine besondere schwere Locomotive ist völlig entbehrlich, da jeder

Wagen einen Motor erhalten kann, so dass das Verhältniss zwischen todter und nützlicher Last etwa fünfmal günstiger wird. Rechnet man einen Zug von 2 Wagen mit 20 tons, Motoren, Triebwerk etc. 2 tons, 90 zahlende Passagiere 6.6 tons, so ist der Nutzeffect

bei voller Belastung $\frac{6.6}{22} = 30\%$, bei halber Be-

lastung $\frac{3.3}{22} = 15\%$ bei viertel Belastung $\frac{1.65}{22} =$

$= 7.5\%$ gegen 1.6% mit Dampfbetrieb und durchschnittlicher Belastung. Der Wirkungsgrad des ganzen Systems einer elektrisch betriebenen Bahn hängt jedoch nicht allein von den gedachten Umständen ab, sondern auch vor allen Dingen davon, wie der Strom den Motoren zugeführt wird. Wir unterscheiden directe und indirecte Stromzuführung.

Die directe Stromzuführung erfolgt in verschiedener Weise: Oberirdisch über dem Wagen, seitwärts der Wagen durch besondere Mittelschiene oder durch die beiden Schienen; — unterirdisch in verschiedenster Weise, gewöhnlich durch Contactleitungen in Canälen, Modificationen dieser Systeme haben sich wenig bewährt.

Die directe Stromzuführung, besonders die oberirdische über dem Wagen, ist überall leicht anzubringen und ist auch die billigste. Die Entfernungen von der Stromquelle bis zum Ende oder bis zur nächsten Kraftstation dürfen jedoch ein gewisses Mass nicht übersteigen, weil die Spannungsverluste in den Leitungen sonst zu gross werden, wodurch der

Wirkungsgrad der Anlage ungünstig sich gestalten müsste.

Die oberirdische Stromzuführung geschieht entweder durch Leitungen aus Eisenschienen, Eisen- oder Messingröhren oder blanken Kupferdrähten, an denen der Wagen Contactstücke entlang rollt oder schleift. Wir werden gelegentlich der Beschreibung einiger ausgeführter Anlagen diese verschiedenen Systeme kennen lernen und daher hier die näheren Einrichtungen übergehen.

Die indirecte Stromzuführung geschieht ausschliesslich durch Accumulatoren, welche im Wagen selbst oder in einem besonderen Tender, respective in einer Locomotive mitgeführt werden.

Trotzdem dieses indirecte System unter den elektrischen Bahnbetrieben das theuerste ist, kann es, selbst bei der heutigen Mangelhaftigkeit der Accumulatoren, unter Umständen doch erfolgreich gegen andere Betriebe concurriren, allerdings kaum gegen directe Stromzuführung und zwar aus folgenden Gründen:

Mit der wachsenden Zahl der Wagen einer Strecke steigen die Kosten der Leitungen nur sehr wenig bei directer Stromzuführung, da sich hauptsächlich nur der Querschnitt derselben vergrössert, während beim Accumulatorenbetrieb jeder Wagen 2—3 Satz Zellen je nach der Frequenz erfordert und bei Lastenförderung von hohem Gewicht die Zellen sehr gross und schwer sein müssten.

Trotzdem giebt es jedoch Umstände, unter denen der Accumulatorenbetrieb der einzig mögliche ist. In

grossen Städten mit sehr starkem Verkehr und verhältnissmässig langen Linien ist die oberirdische Stromzuführung einfach unmöglich und die unterirdische sehr kostspielig. Die Pferde eines jeden Strassenbahnwagens nehmen auch circa 8 Qu.-M. Raum ein, so dass bei 50—100 Wagen in einer Strasse hintereinander auch an Raum ungeheuer erspart wird.

Unter solch schwierigen Verhältnissen ist der Pferdebetrieb auf die Dauer nicht mehr möglich, und hier gehört dem indirecten oder Accumulatoren-System allein die Zukunft.

Vor der Projectirung eines jeden Strassenbahnbetriebes, vor allem für einen solchen mit Accumulatoren, muss man nicht nur die ganze Situation und die Terrainverhältnisse eingehend studiren, sondern vor allen Dingen auch die Gefällsverhältnisse nach genauem Nivellement ermitteln.

Durch Versuche auf ebener, normaler Bahn hat man mit Hilfe des Dynamometers gefunden, dass für je tausend Kilogramm Last etwa 13·5—18·0 Kgr. Zugkraft nöthig sind. Die Grösse dieser Zahl richtet sich ganz nach der Beschaffenheit der Schienen, Räder und Axen, sowie danach, ob die Schienen gewöhnlich feucht oder trocken sind. Bei guten Strassenbahnen ist die kleinere Zahl, bei unterirdischen Grubenbahnen die grössere Zahl massgebend.

Doch diese Ermittlungen genügen noch nicht, man muss vor allen Dingen auch die Kraft kennen, welche bei gewisser Geschwindigkeit in gewissen Steigungen erforderlich ist. Hierüber hat Herr Anthony Reckenzaun in London eingehende Versuche

angestellt, deren Resultate in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt sind.

Geschwindigkeit Km. per Stunde	Steigung	ausgeübte Pferdekkräfte
11·2	0	2·52
9·6	0	2·16
9·6	1 : 75	4·32
8	1 : 37	5·4
6·4	1 : 37	4·32
4·8	1 : 25	4·42
6·4	1 : 25	5·76
8	1 : 25	7·2
4·8	1 : 15	5·4

Die Versuche wurden mit zwei Pferden an einem Wagen von 4·5 Tons Gewicht angestellt und sind näher in Electrical Review London 4. Juli 1885 beschrieben, in einem Vortrage des genannten Herrn »On electrical Tramways«. Die in Curven erforderliche Zugkraft ist auch beträchtlich grösser als auf der normalen Strecke, sie hängt ab vom Radius der Curve (kleinster Radius etwa 11 M.), vom Spielraum der Wagenachsen in den Zapfen und von der Höhe der Räderflanschen; genaue Messungen konnten hier nicht angestellt werden, weil sie zu grosse Schwierigkeiten machten. Die meiste Kraft wird zum Anfahren aus der Ruhe gebraucht, sie beträgt das Vierfache der normalen Kraftleistung.

Eine nicht minder wichtige Rolle im Strassenbahnbetriebe spielt die Witterung. Nicht allein Schmutz, Staub und Feuchtigkeit, sondern vor allen Dingen

Schnee und Glatteis bedingen eine ganz enorme Mehrleistung zum Betriebe der Stadtbahnen.

Es ist das Verdienst des Herrn J. L. Huber zu Hamburg, in dieser Richtung erschöpfende Versuche zuerst gemacht zu haben. Derselbe betrieb auf der Strecke Barmbeck-Hamburg während 9 Monaten 1, respective 2 Wagen und liess während dieser ganzen Zeit die verbrauchte Energie genau controliren. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in den Curven Fig. 33 und 34 dargestellt.

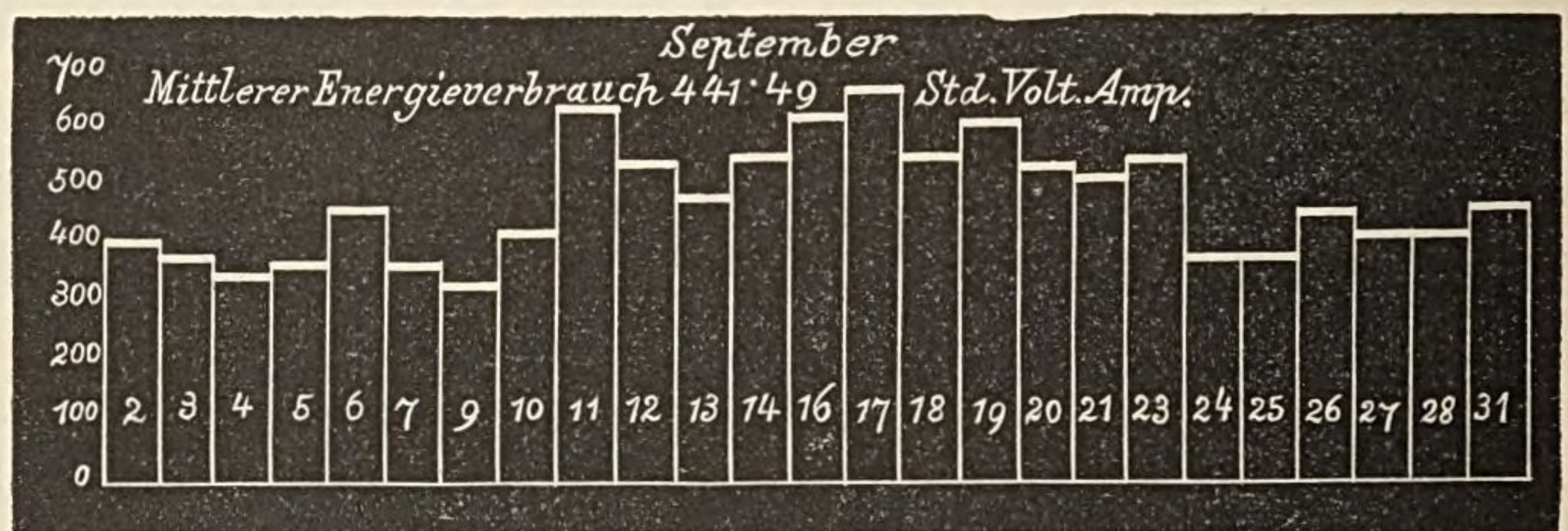
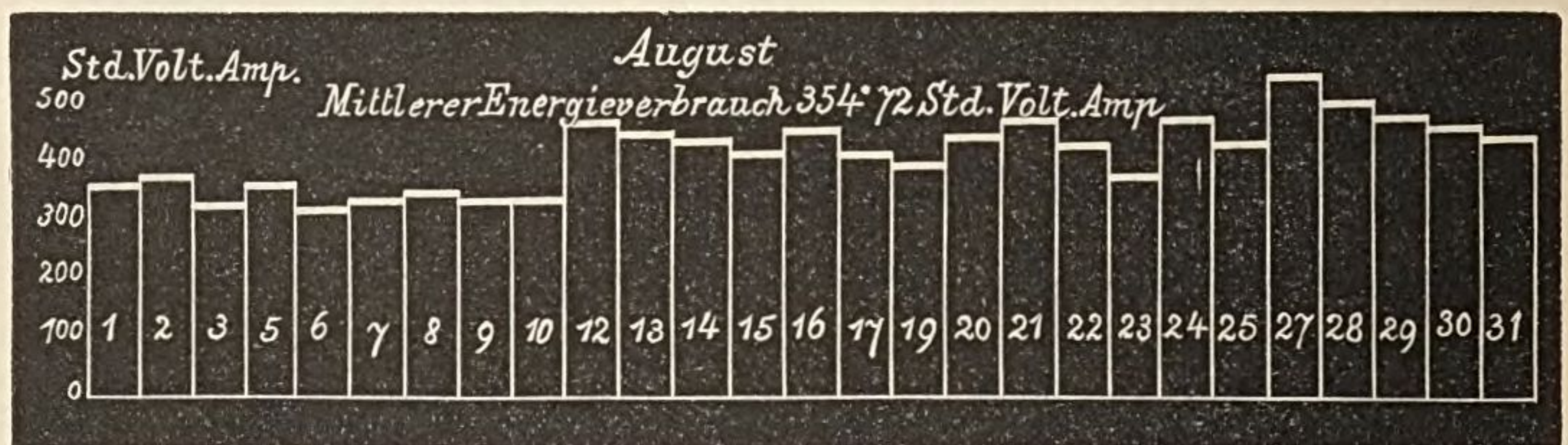
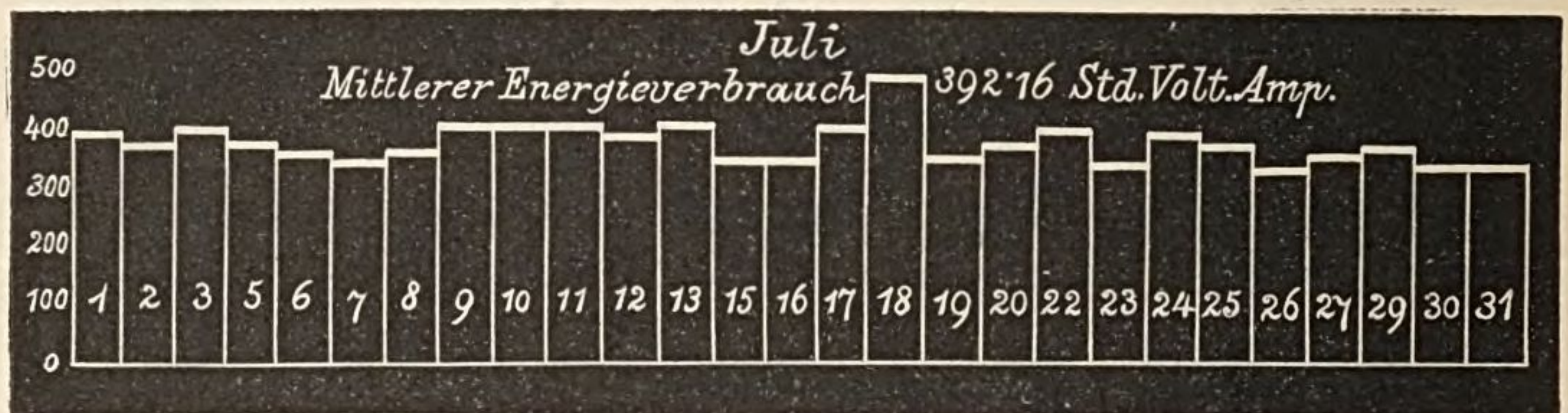
Die graphische Darstellung giebt den durchschnittlichen Energie-Verbrauch für 1 Km. gefahrene Weglänge, in Stunden Volt-Ampère und zwar betrug derselbe im Monat durchschnittlich:

Juli	392.16	Stunden	Volt-Ampère	mit	Wagen	Nr.	61
August	354.72	»	»	»	»	»	61
September	441.49	»	»	»	»	»	61 resp. 86
October	417.87	»	»	»	»	»	61
November	701.92	»	»	»	»	»	61 resp. 86
December	561.374	»	»	»	»	»	61 » 86

Es wurde jede Woche ein Tag Pause gemacht, um Motoren und Accumulatoren gründlich zu revidiren. Die schraffirten Tage sind die Sonntage. Diese höchst mühevollen Zusammenstellung zeigt ganz klar, wie ungeheuer der Energieverbrauch mit der Witterung sich ändert. Während derselbe nämlich im Sommer bei schönem Wetter an zahlreichen Tagen nicht mehr als etwa 350 Volt-Ampèrestunden per Km. gefahrene Weglänge betragen hat, stieg derselbe am

8. December auf nahezu das Dreifache, nämlich 900 Stunden-Volt-Ampère. *)

Fig. 33.

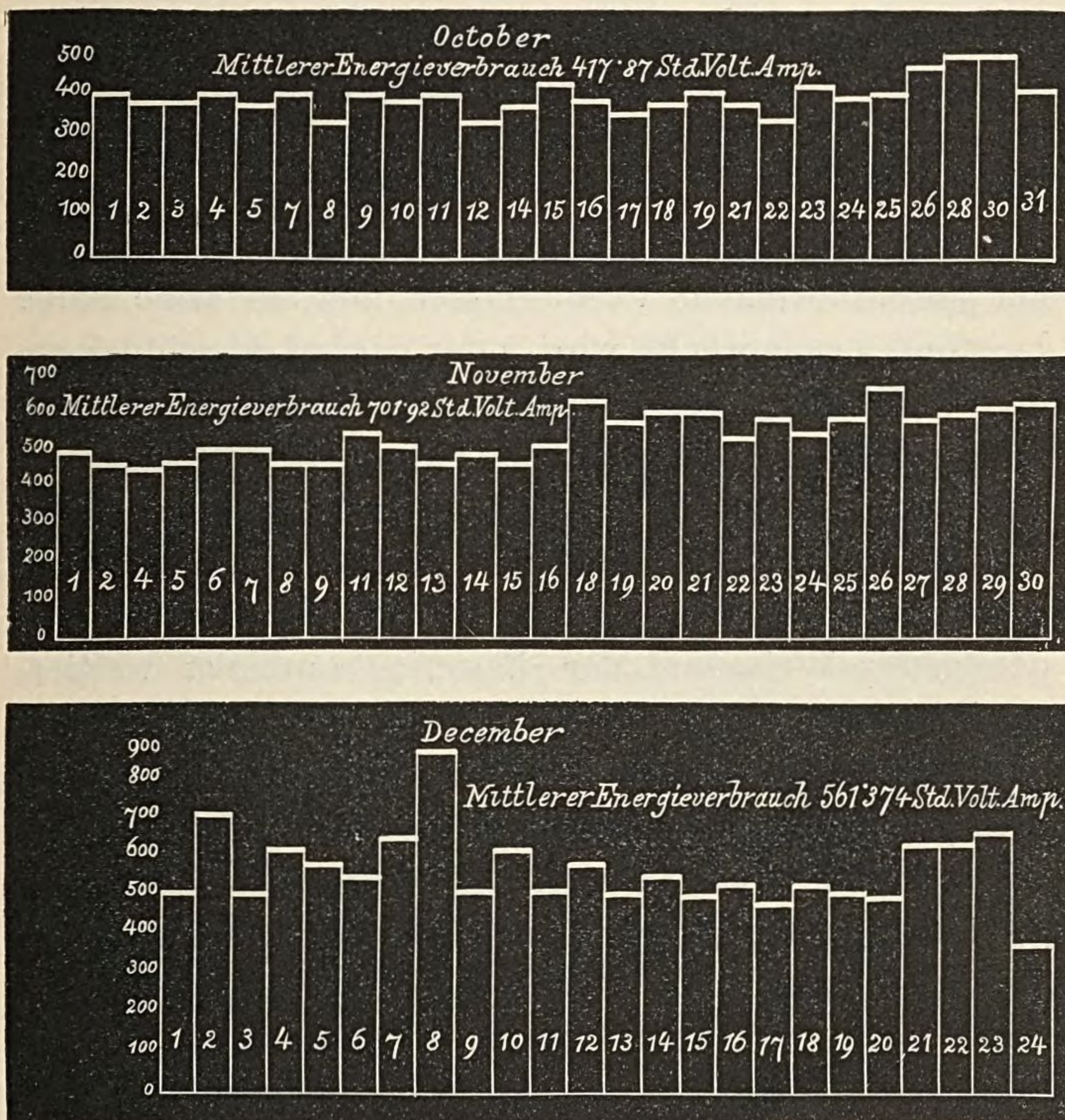


In diesen Leistungen ist allerdings der Einfluss mit inbegriffen, welchen die Steigungsverhältnisse mit sich brachten. Herr J. L. Huber theilt ferner im elek-

*) S. Proceedings of the Institute of Civil Engineer London. Vol. XCII, 1887—88. Electrical Tramway in Hamburg by J. L. Huber.

trotechnischen Anzeiger vom 13. Februar 1890, S. 194, mit, dass unter Berücksichtigung aller Factoren ein

Fig. 34.



grosser Prozentsatz der auf den Motor übertragenen Kraft durch Wärme nutzlos verloren ging.

Es ist einleuchtend, dass durch diese Einflüsse der Accumulatorenbetrieb sehr unökonomisch wird, und man hat daher verschiedene Mittel eronnen, diesem

Uebelstände abzuhefen. Zur Erreichung dieses Zweckes muss man vor allen Dingen dafür Sorge tragen, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit der Armatur des Elektromotors unter allen Verhältnissen dieselbe bleibt. Oder dass z. B. beim Anfahren die Kraft des Elektromotors nicht eher beansprucht wird, als bis derselbe seine volle Umdrehungsgeschwindigkeit erlangt hat.

Man muss also entweder einen Motor anwenden, der unter normalen Verhältnissen nur auf seine halbe Leistung beansprucht wird, oder der bei gleichbleibender Umdrehungsgeschwindigkeit des Elektromotors in Steigungen auch langsames Fahren gestattet.

Um gegebenen Falls die Kraft des Elektromotors verdoppeln zu können, verwendet man gewöhnlich für jeden Wagen 2 Elektromotoren, welche in geeigneter Weise mit der Batterie combinirt werden, so dass man die Kraftleistung zwischen 5 und 16 P. S. variiren kann. Diese Art der Aushilfe ist nicht allein kostspielig in der Anschaffung, sondern auch im Betriebe. Herr Huber hat infolgedessen ein Zwischenglied construirt, welches gestattet, das Uebersetzungsverhältniss zwischen Motor und Wagenaxe schnell und leicht vom Führerstande aus ändern zu können. *) Dasselbe besteht in einer Frictionsklauenkuppelung, die in normalem Zustande die einzelnen Theile eines Vorgeleges fest mit einander verbindet. Wird die Kuppelung durch das Anziehen eines Bremsbandes jedoch

*) D. R.-P. Nr. 50.969. S. auch elektrotechnischen Anzeiger 1890, S. 211.

ausser Thätigkeit gesetzt, so ist dadurch das Vorgelege eingerückt. Fig. 35 und 36 zeigt das Vorgelege in zwei Durchschnitten, während die Fig. 37 und 38 die Frictionskuppelung mit dem Bremsband veranschaulichen.

In Fig. 35 ist a eine lose, auf der Vorgelegewelle c drehbare Scheibe, welche vom Motor angetrieben wird; d ist eine mit der Scheibe a festverbundene Narbe. AB ist die Bremsscheibe mit den beiden Stiften h , auf denen lose die Zwischenräder i sitzen. Von letzteren greift das eine in den Zahnkranz des auf der Welle c festgekeilten Kernrades K . Unter normalen Verhältnissen halten die Frictionsklauen m , die um die Stifte e beweglich sind, die Frictionsscheibe AB mit dem Theil a und somit auch mit der Welle c festverbunden. Stellt sich ein grösserer Kraftbedarf ein, so werden mit Hilfe des Bremsbandes p die Frictionsklauen ausser Thätigkeit gesetzt. Die Frictionsscheibe AB wird durch das Anziehen der Bremse festgehalten und das kleine Zahnrad b , welches mit a und d in fester Verbindung steht, sich also auf der Welle c freibewegt, fängt in dem Masse an schnell zu rotiren, als sich die Umdrehung der Bremsscheibe vermindert. Da nun das Zahnrad b mit den Zwischenrädern i und dem Radkranz von K im Eingriff steht, so wird K nun und somit auch die Welle c in eine verlangsamte Umdrehung versetzt. Für die bisher ausgeführten Wagen hat Herr Huber ein Uebersetzungsverhältniss von 1:2.4 gewählt, so dass die doppelte Kraft mit geringerer Geschwindigkeit geleistet werden kann. Es genügt also die Anwendung eines Motors von 10—15 P. S.,

der mit Hilfe dieses Vorgeleges gegebenen Falls das Doppelte leisten kann.

Diese Vorrichtung vermindert also nicht allein die Anschaffungskosten von Elektromotoren um etwa die Hälfte, sondern gestattet vor allen Dingen eine ausgedehnte Schonung der Accumulatoren, da nicht mehr

Fig. 35.

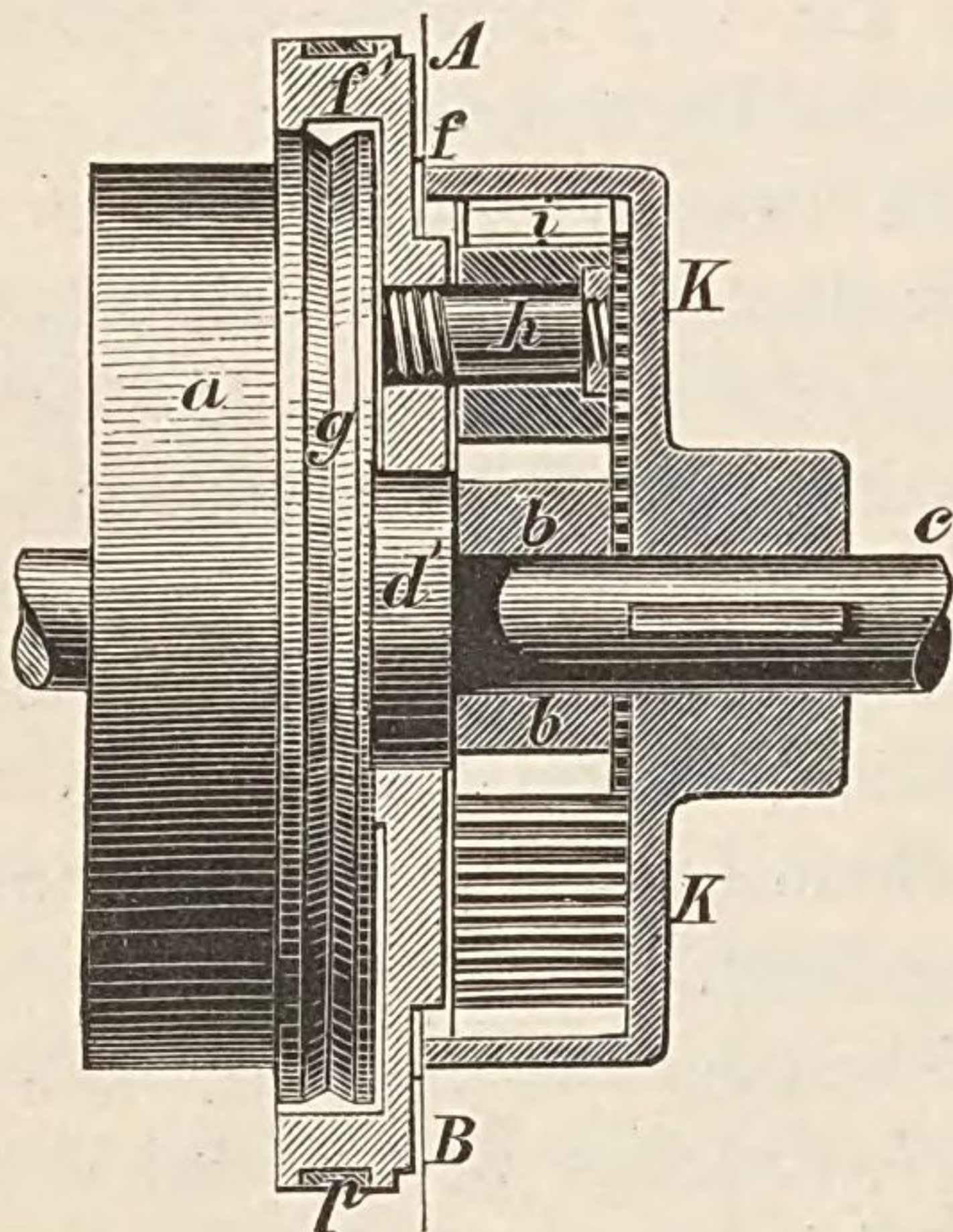
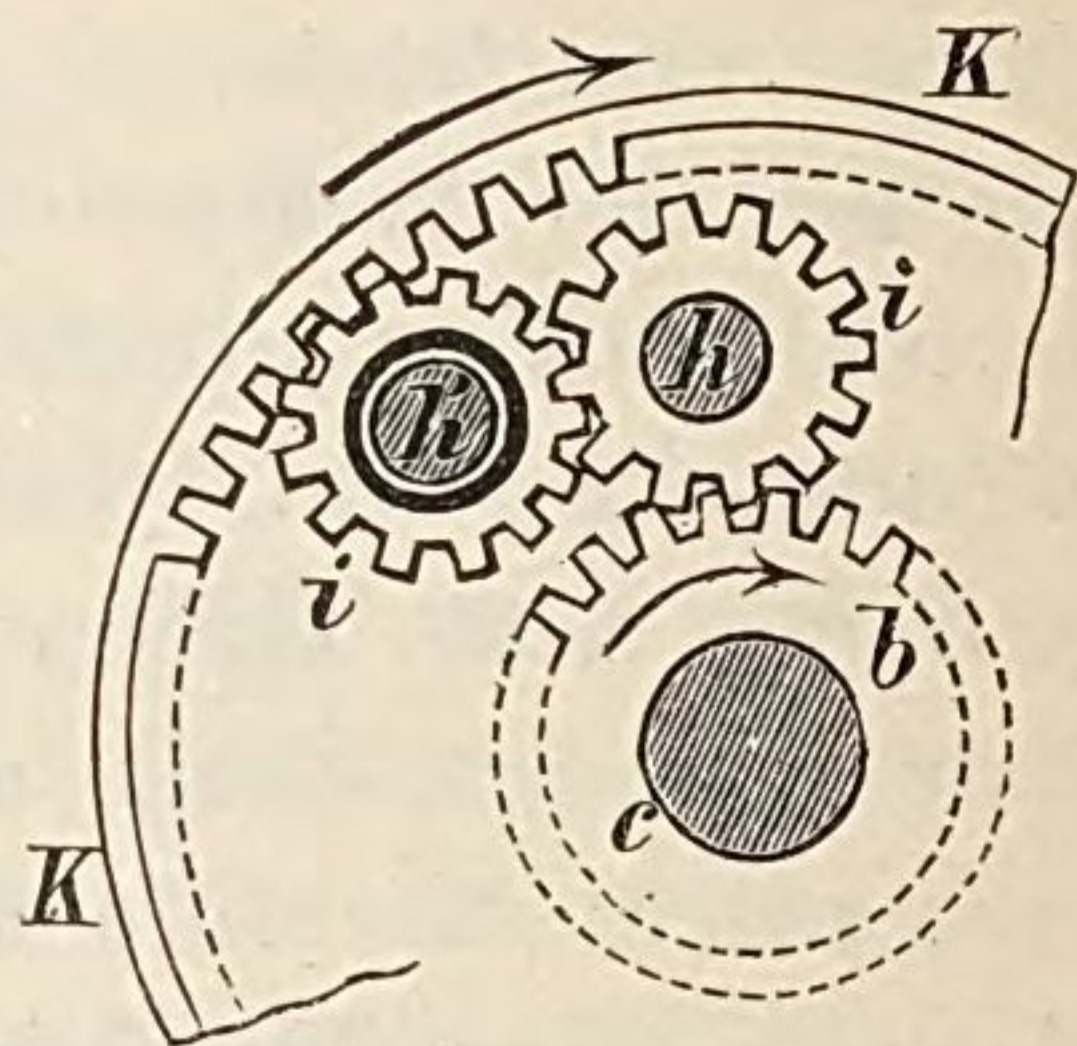


Fig. 36.



wie bei früheren Einrichtungen eine übermässig grosse Stromstärke für das Anfahren oder Hinauffahren von Steigungen erforderlich ist und auch der Strom nicht mehr unnütz als Wärme im Motor verloren geht, sondern der ganze dem Motor zugeführte Strom in Kraft umgesetzt wird, soweit dies der Nutzeffect des Motors überhaupt gestattet.

Der elektrische Motor ist die einfachste und billigste Kraftmaschine. Der einzig bewegte Theil an demselben ist die Armatur und diese hat eine rotirende

Bewegung, welche sich zur Uebertragung der Kraft

Fig. 37.

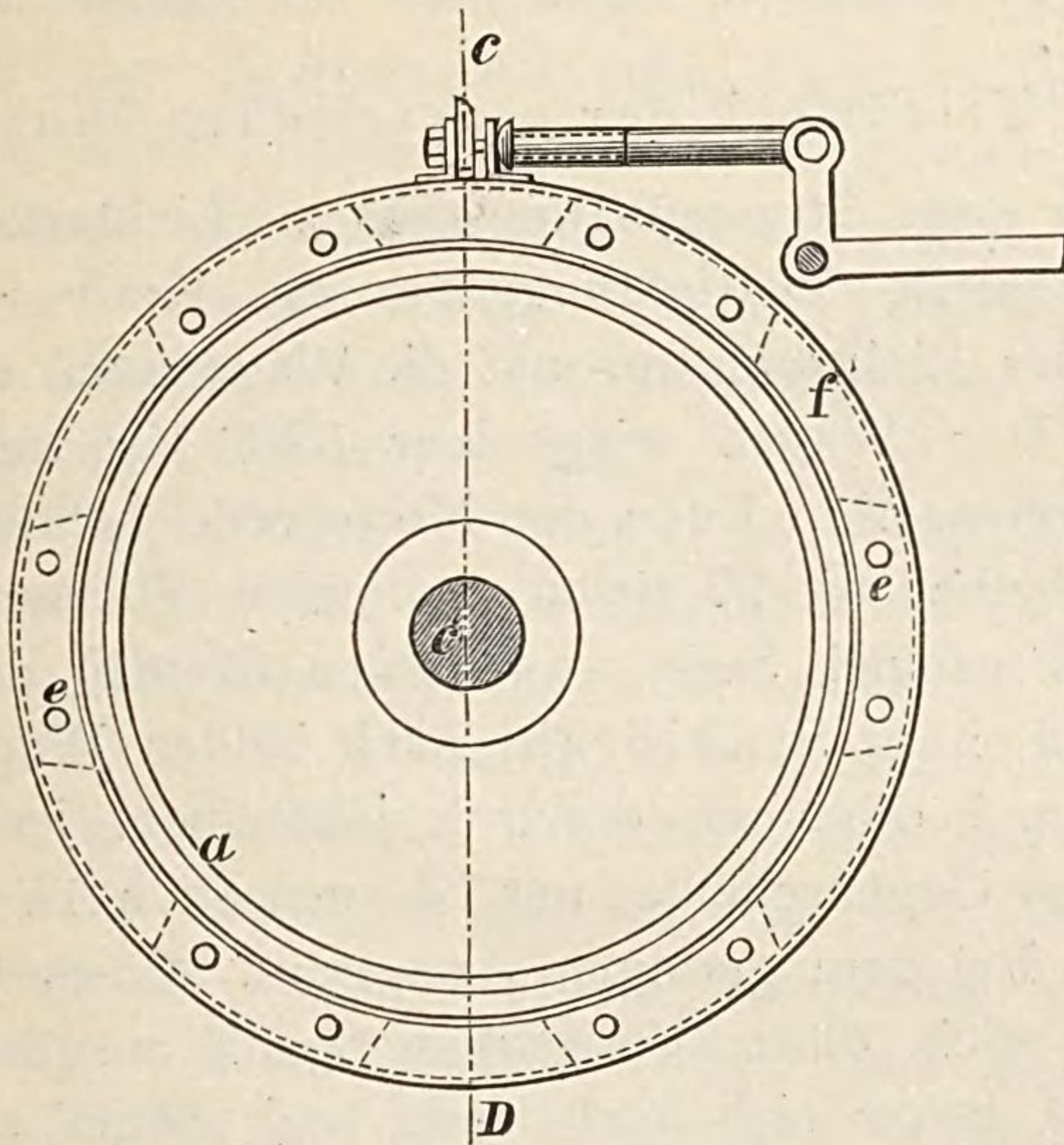
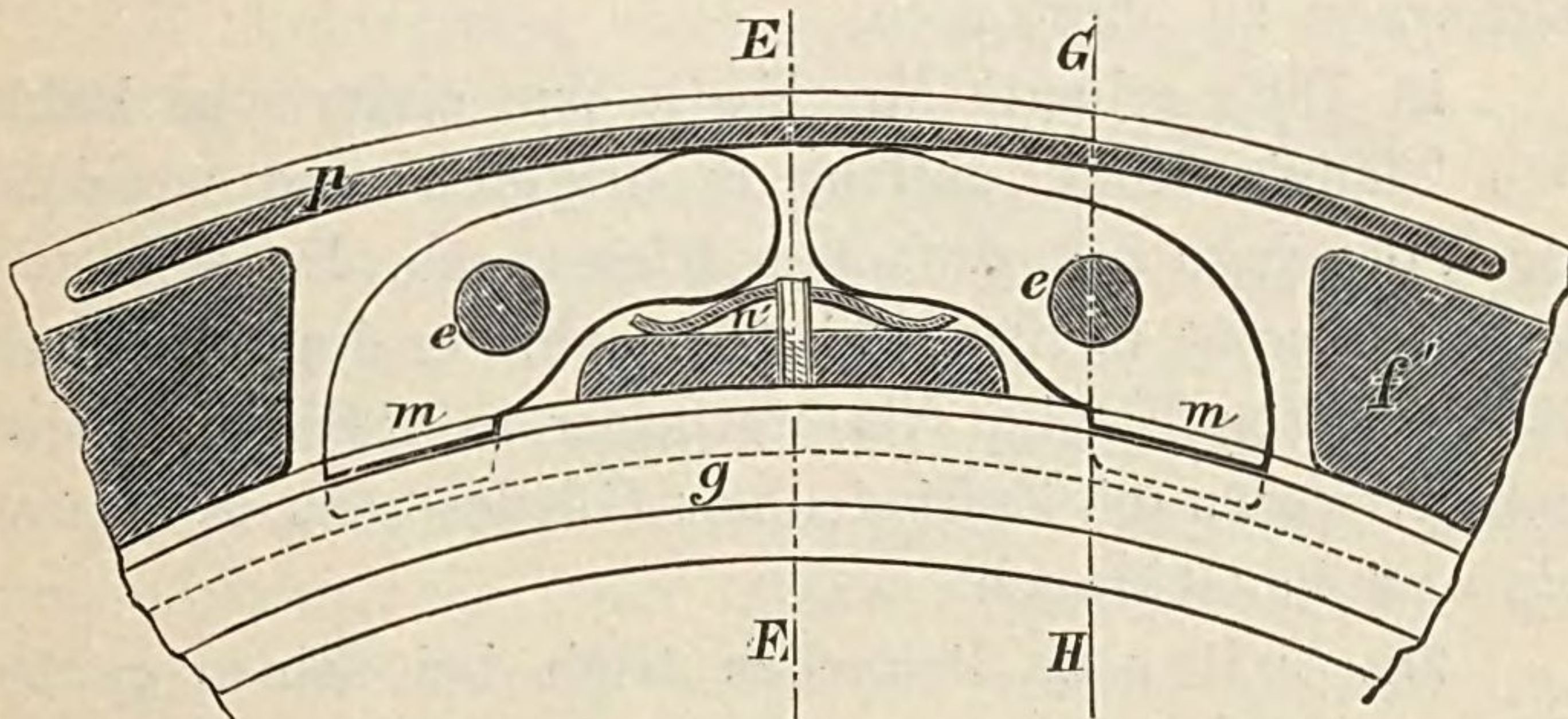


Fig. 38.



ausgezeichnet eignet. Besondere Schwierigkeiten macht jedoch die Uebertragung der Kraft der roti-

renden Motorwelle auf die Wagenräder, respective deren Axen. Man hat hiezu die verschiedensten Vorkehrungen ersonnen, betrachten wir daher znnächst

Das Triebwerk der elektrischen Wagen.

Der erste Strassenbahnwagen zu Lichterfelde hat eine originelle Vorrichtung, um die Kraft von der Welle des Elektromotors auf die Wagenaxen zu übertragen. Der Wagen wiegt leer 3200 Kg. und fasst 24 Personen. Am Ende der Motorwelle befindet sich eine Scheibe mit 27 tiefen, schmalen V-Rinnen, von denen ebensoviel Seile aus spiralförmig doppelt gewundenem Stahldraht nach beiden Wagenaxen führen und dieselben dadurch umtreiben, jede Axe hat grosse Gegenscheiben mit 13, respective 14 solcher Rinnen. Bei dem geringen Axenstand dieses Wagens bewährt sich diese Vorrichtung ganz ausgezeichnet. Die Seile lassen sich auch leicht und schnell ersetzen. Acht derselben würden schon genügen, die Kraft mit Sicherheit zu übertragen.

In 1883 erbaute Mr. Volk eine elektrische Bahn den Madeira-Road entlang in Brighton und wendete ein Vorgelege mit einfachen Riemen an. Da sich dieselben absolut nicht bewährten, nahm er doppelte ohne viel besseren Erfolg. Als Verfasser in 1885 die Bahn befuhr, waren mit Zufriedenheit Glieder- oder Kettenriemen in Gebrauch.

Mr. Julien zu Bruxelles trieb bei seinen ersten Wagen 1884 vom Motor durch einen Riemen, respective Darmseiten ein Vorgelege an, von welchem durch eine Gall'sche Kette die eine Wagenaxe bewegt

wurde, während Herr Huber in Hamburg bei dem Julien'schen System 1886 statt des Riemens Drahtseile verwendete.

Mit der Zahnradübertragung machte Verfasser in 1883 anfangs schlechte Erfahrungen, nachdem jedoch die Zähne sehr genau gefräst und die Räder aus verschiedenem Material gefertigt waren, so dass Phosphorbronze auf Gussstahl rieb, ging der Betrieb sehr glatt von statten.

Die elektrischen Bahnen von Mödling nach Hinterbrühl bei Wien, von Frankfurt a. M. nach Offenbach, in Bremen 1890 und viele andere in England und Amerika wie in Italien, von denen eine grosse Zahl Verfasser befahren hat, haben eine Zahnradübersetzung, die theilweise gut arbeitet. Die Abnützung ist jedoch bei vielen ziemlich bedeutend, und das Geräusch z. B. auf der Mödlinger und Frankfurter Bahn stark. Es lässt sich daraus wohl schliessen, dass auch bedeutender Kraftverlust hierbei stattfindet.

Mit sehr wenig Geräusch und geringer Abnützung arbeiten die amerikanischen spur gearings von Sprague und Thomson-Houston.

Reibungskuppelungen, konische Scheiben und Ketten haben sich vielfach nicht bewährt, eine gewisse Construction der Ketten jedoch besser als die gewöhnliche Art. Wenn man jeden Kettenstab eines jeden Gliedes mit einer kleinen Stahlrolle versieht und für gute Schmierung sorgt, so verwandelt man die Reibung zwischen Kette und den Zähnen des Kettenrades, die sonst gleitend ist, in rollende Reibung, welche bekanntlich viel geringer ist als die erstere.

Ein vorzügliches Triebwerk, das Verfasser sowohl in London als auch in Berlin zu erproben Gelegenheit hatte, *) giebt

die Schraube mit Schneckenrad.

Bis vor wenig Jahren, ehe Anthony Reckenzaun in London dieses Triebwerk zur Anwendung brachte, war man allgemein der Ansicht, dass eine Schraube ohne Ende grosse Reibungsverluste mit sich brachte und dass ein Wagen, welcher damit versehen sei, im Gefälle ohne Antrieb nicht herablaufen könne. Die Praxis und exacte Bremsversuche haben das Gegentheil bewiesen. Sobald nämlich die Steigung des Schraubenganges nicht zu klein ist und der Eingriff gut geölt wird, arbeitet dieses Triebwerk ganz ausgezeichnet und mit 80—85% Nutzeffect (gemessen an der Bremse zwischen Wagenaxe und Motorwelle). Ist die Schnecke oder Schraube aus einem Stück massiven Stahles geschnitten, gut polirt und richtig construirt, und besteht das Schneckenrad aus harter Bronze, so arbeitet dieselbe nicht allein absolut geräuschlos, sondern nützt sich auch bei guter Schmierung kaum merklich ab. Die Schraube hat dreifachen Gang von 50 Mm. Neigung, 150 Mm. Durchmesser und ist 150 Mm. lang, das Schraubenrad hat 380 Mm. Durchmesser mit 24 Zähnen. Das Uebersetzungsverhältniss ist 1:8. Bei Leerlauf des Motors waren 6 Ampère zu dessen Betrieb nothwendig und beim Eingriff in das Schnecken-

*) S. auch Transactions of the American Institute of the Electrical Engineer. New-York 1887. September Meeting.

rad ohne sonstige Belastung 7.75 Ampère. Dies stimmte mit der mechanischen Bremsung genügend überein, ausserdem wurde noch der Nutzeffect durch nachstehende Formel zur Controle berechnet:

$$\xi = \frac{\cot \Theta}{\cot \Theta - \Phi} = \frac{1 - \mu \frac{p}{2\pi r}}{1 + \mu \frac{p}{2\pi r}}$$

wo

Θ = Winkel der Neigung der Schraube,

μ = Reibungscoëfficient = 0.015,

r = Radius der Schnecke,

Φ = Auflagewinkel zwischen Metall und Metall,

ξ = Nutzeffect des Systems.

Die Rechnung ergab 87.5% und der Bremsversuch bei

300 Umdrehungen	80 %
530 »	81 »
676 »	85.1 »
770 »	87 »

Weitere praktische Versuche zeigten auch, dass dieses Triebwerk viel weniger Kraft als der Kettentrieb erforderte, so dass dieses System bei allen Wagen, welche Herr Reckenzaun baut, zur Anwendung gekommen ist.

Um zu verhüten, dass auf schlechtem holprigen Geleise durch unruhigen Gang des Wagens die Motorwelle sich biegen oder brechen könnte, ist zwischen Motor und Schnecke eine kräftige, biegsame Spirale eingeschaltet, so dass auch heftige Erschütterungen ohne Einfluss auf Motor und Triebwerk sind.

Eine ausgezeichnete Schmierung wird dadurch erreicht, dass das Schneckenrad unten in ein Oelgefäß taucht, aus dem die Zähne stets genügend Oel mitnehmen. Das ganze System ist noch in eine staubdichte Kapsel eingeschlossen. Ein anderes nicht minder wichtiges Capitel ist:

die Regulirung der Geschwindigkeit.

Bei der directen Stromzuführung hilft man sich meistens durch Einschalten von Widerständen. Um stets das Maximum an Kraft zur Verfügung zu haben arbeitet die Kraftstation auf constante Spannung, welche da, wo weniger Kraft, respective geringere Geschwindigkeit erforderlich ist, durch Einschalten von Widerständen vermindert wird.

Wo dies nur gelegentlich und auf nur kurze Zeit stattfindet, hat es nicht viel zu sagen, andernfalls bedeutet es geradezu Vergeudung an Kraft, also Geldverlust. Dies Verfahren ist ebenso unrationell als wenn man bei Dampflocomotiven bei offenem Ventil bremsen wollte. Um diese Verluste zu verhindern, hat man, besonders bei Accumulatorenbetrieb, verschiedene Einrichtungen getroffen.

Die Herren Julien und Huber theilen die Anzahl der Zellen in vier gleiche Abtheilungen und combiniren diese mit einem Elektromotor, indem dieselben theils parallel, theils hinter einander geschaltet werden.

Die vier Zellengruppen sind mit dem Motor wie folgt verbunden:

1. eine Gruppe zu 12 Doppelzellen parallel
2. zwei Gruppen » » » »
3. drei » » » »
4. vier Gruppen hintereinander.

Die Umschaltung erfolgt mit einem runden, cylindrischen Umschalter. Bei jedem Wechsel der Schaltung wird zunächst der Strom momentan unterbrochen an einem besonderen Strombrecher, der den Stromschluss erst wieder herstellt, nachdem die Umschaltung erfolgt ist.

In der Rue de la Loi zu Bruxelles waren jahrelang 4—5 Wagen dieses Systems mit Erfolg im Betrieb. Die Steigungsverhältnisse dieser Strecke sind sehr ungünstig, sie betragen bis zu 4 Cm. per Meter und mehr.

Die Bedienung der ganzen Einrichtungen lag ganz in den Händen des Pferdebahnpersonales, welches aus Mangel an technischen Kenntnissen so schlecht damit umging, dass der Betrieb kostspielig wurde und schliesslich aufhörte, nachdem er von 1884 bis etwa 1888 bestanden hatte.

Jede Zelle enthielt 17 Platten, die Doppelzelle wog 16 Kg., jeder Wagen hatte 200 Volt und 66 Ampère zur Verfügung. Totalgewicht von 48 Doppelzellen 1200 Kg. Preis per Kilogramm Bleielektrode 2·0—2·5 Frcs.*)

Andere nehmen zwei Motoren und zwei Abtheilungen Accumulatoren und erzielen so durch ver-

*) Nach vom Verfasser an Ort und Stelle erhaltenen Daten vom 16. März 1885 bei der Compagnie générale d'Electricité.

schiedene Schaltungen 4 verschiedene Geschwindigkeiten.

Das Parallelschalten der Accumulatoren, welches bei beiden Systemen zur Anwendung kommt, ist jedoch für die Haltbarkeit derselben nicht vortheilhaft, das einzig Rationelle ist daher, wie es z. B. Herr Reckenzaun thut, alle Zellen stets mit voller Spannung anzuwenden, und mit einem oder zwei Motoren zu combiniren, respective die Wickelung in 4 Abtheilungen auf den Magnetschenkel auszuführen und diese nach Bedarf einzuschalten.

Zum langsamen, stossfreien, allmählichen Anfahren bedarf man, wenigstens bei Accumulatorenbetrieb, keiner Einschaltung von Widerständen.

Der in Ruhe befindliche Elektromotor hat schon an sich ein gewisses Beharrungsvermögen, er fängt also zunächst an langsam zu rotiren; er hat auch Anfangs keine gegenelektromotorische Kraft, sondern entwickelt dieselbe erst je schneller er rotirt, so dass durch diese beiden Umstände allein schon ein zu plötzliches Anfahren verhütet wird.

Auch die S 174 beschriebene Huber'sche Kuppelung gestattet in vorzüglicher Weise langsames Anfahren ohne sonstige Hilfsmittel, während man bei directer Stromzuführung mit hoher Spannung hierzu vielfach Widerstände anwendet.

Der Nutzeffect des directen und indirecten Systems.

Angenommen eine elektrische Bahn, wie die z. B. bei Wien mit oberirdischer Stromzuführung von

20 Ampère bei 500 Volt und 2 Ohm Widerstand der Leitung. Ist ein Wagen nur in Betrieb, so ist der Verlust der Leitung verschwindend gering in der Nähe der Kraftstation. Am anderen Ende der Bahn beträgt derselbe jedoch $20^2 \times 2$. Im Mittel, respective in der Mitte der Bahn, beträgt der Widerstand nur 1 Ohm, der Verlust beträgt dann durchschnittlich $20^2 \times 1 = 400$ Voltampère gegen $500 \times 20 = 10.000$ Voltampère, welche die Kraftstation erzeugt. Es ist demnach der Wirkungsgrad der Leitung 96 $\frac{0}{10}$. Sind jedoch 6 Wagen auf der Strecke vertheilt, welche 120 Ampère gebrauchen, so ist der Verlust 14.400 Voltampère, während die Vordermaschine 60.000 Voltampère erzeugt. In diesem Falle beträgt der Nutzeffect der Leitung nur noch 73 $\frac{1}{2}$ $\frac{0}{10}$. Je grösser also mit der Wagenzahl die Stromstärke wird, je mehr vermindert sich der Nutzeffect. *)

Beim Accumulatorenbetrieb haben wir einen gleichbleibenden Verlust, wie lang auch die Strecke sein mag, falls der aufgespeicherte Strom für die Fahrzeit hinreicht, und wie viel Wagen auch auf der Linie in Betrieb sich befinden.

Wollte man die Wagen der Mödlinger Linie für Accumulatoren einrichten, so würde sich deren Gewicht um höchstens 20 $\frac{0}{10}$ erhöhen, es wäre mithin eine grössere Betriebskraft, also mehr Feuerung zum Laden erforderlich. Dieselbe spielt jedoch keine so bedeutende Rolle, da sie nur 16 $\frac{0}{10}$ der ganzen Unkosten ausmacht. Man braucht also auf diesen Umstand kein so bedeutendes Gewicht zu legen.

*) S. Journal of the Society of Arts London 1887. Nr. 1796 Vol XXXV. Electric Locomotion by A. Reckenzaun.

Nach den Berichten des Capitän Douglas Galton über die Ausstellung zu Antwerpen braucht man für einen Accumulatorenwagen per mile 6·16 lbs. Kohlen, den Ton zu 16 sh. gerechnet ergiebt etwa $\frac{1}{2}$ d. Dieser Wagen hatte für 34 Personen Platz, die Strecke war beinahe eben, die Dampfmaschine war jedoch nicht besonders ökonomisch. Nach Versuchen des Herrn Reckenzaun beläuft sich die Feuerung niemals auf mehr als 8 lbs. per car-mile, wenn die Zellen nicht mehr als 25 cwts. = 1270 Kg. wiegen.

Eine definitive Entscheidung, welches System unter den vorhin besprochenen Verhältnissen am rationellsten arbeitet, wird sich allerdings erst dann treffen lassen, wenn über einen ausgedehnten Betrieb mit Accumulatoren in ähnlicher Weise Erfahrungen vorliegen werden, wie wir sie heute bereits über den directen Betrieb besitzen.

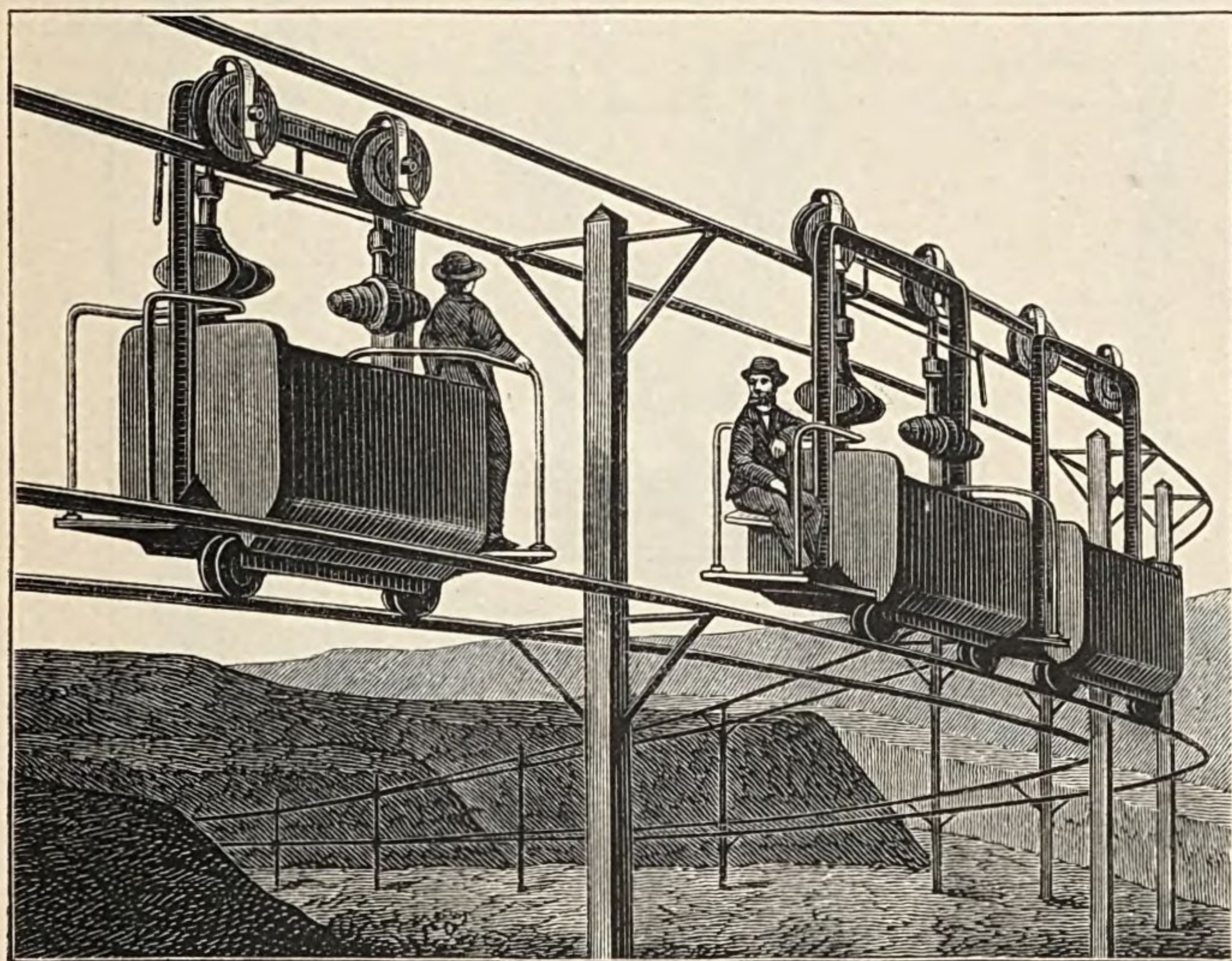
Lehrreich in Bezug auf den elektrischen sowohl als auch auf den wirthschaftlichen Wirkungsgrad sind in dieser Beziehung auch die an anderer Stelle schon mitgetheilten Versuche an der Kraftübertragung zwischen Solothurn und Kriegstetten. Es sollte hier nur gezeigt werden, wie es bei all diesen Anlagen immer darauf ankommt, alle Verhältnisse vorher genau zu erwägen, um sich vor einem wirthschaftlichen Missgriff zu schützen.

Oberirdische elektrische Bahnen oder Telepherlinien.

Besonders für die Zwecke des Bergbaues, für Transport von Materialien und Rohstoffen für Fabriken

über Terrains von unebener Beschaffenheit, wo Wege oder gewöhnliche Geleise nicht angelegt werden können, hat man diese Art der elektrischen Beförderung besonders in England zur Anwendung gebracht. Entsprechend dem Zwecke sind leichte und verhält-

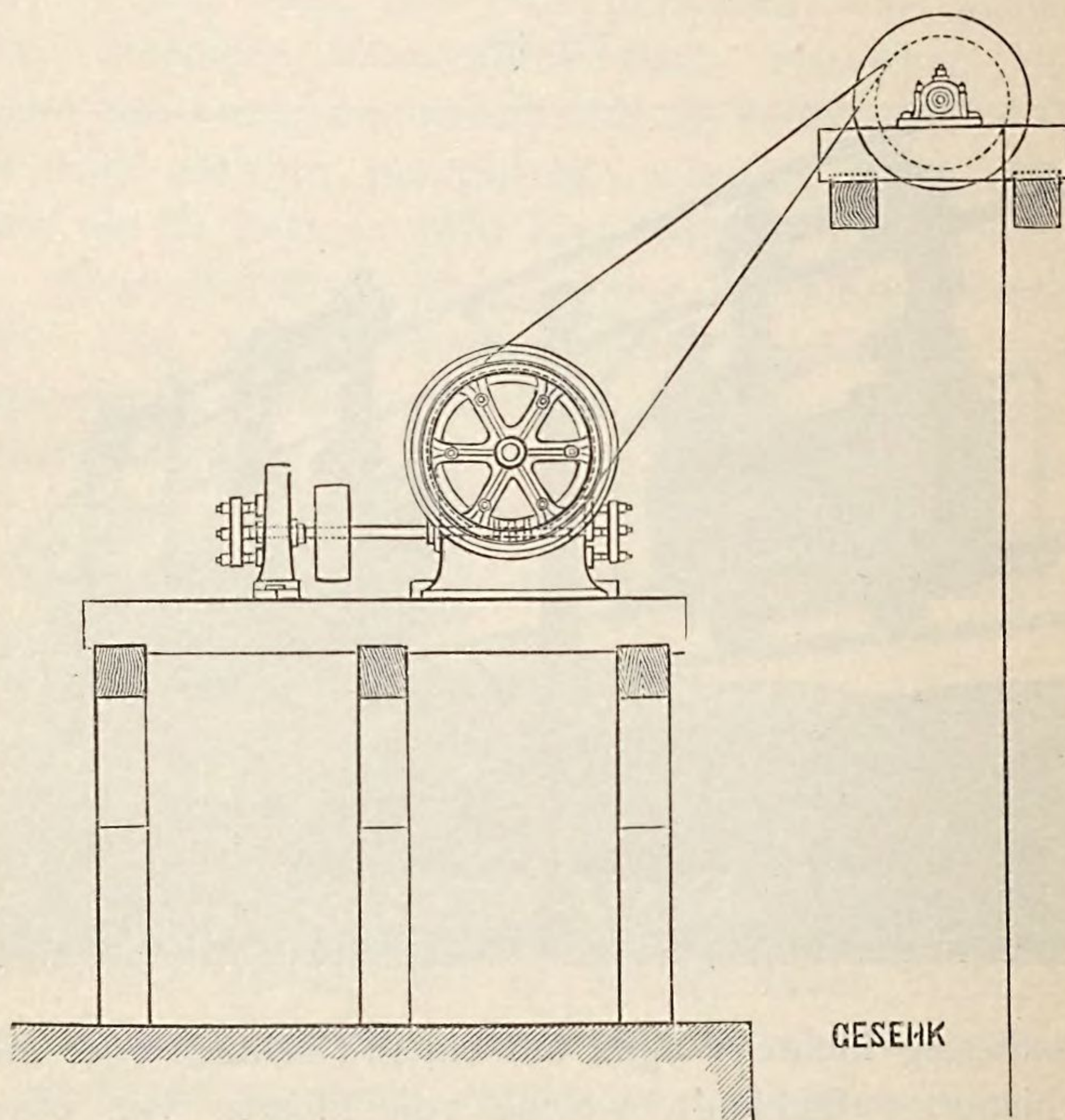
Fig. 39.



nissmässig kleine Wagen auf einem Drahtseil oder auf Schienen aufgehängt, welche von Pfosten von etwa 10 M. Höhe mit Querarmen getragen werden. Der erste Wagen pflegt einen Elektromotor zu enthalten, und als Locomotive zu dienen. Man hat verschiedene Systeme dieser Art und verschiedene Stromzuführungen zum Elektromotor construiert. Die vorstehende Fig. 39 giebt die Ansicht einer solchen Bahn, wie sie die

Sprague Co. in Amerika für Bergwerke ausführt. Diese Art des Betriebes ist also ganz analog derjenigen unserer Drahtseilbahn und wird sich ebenso wie diese

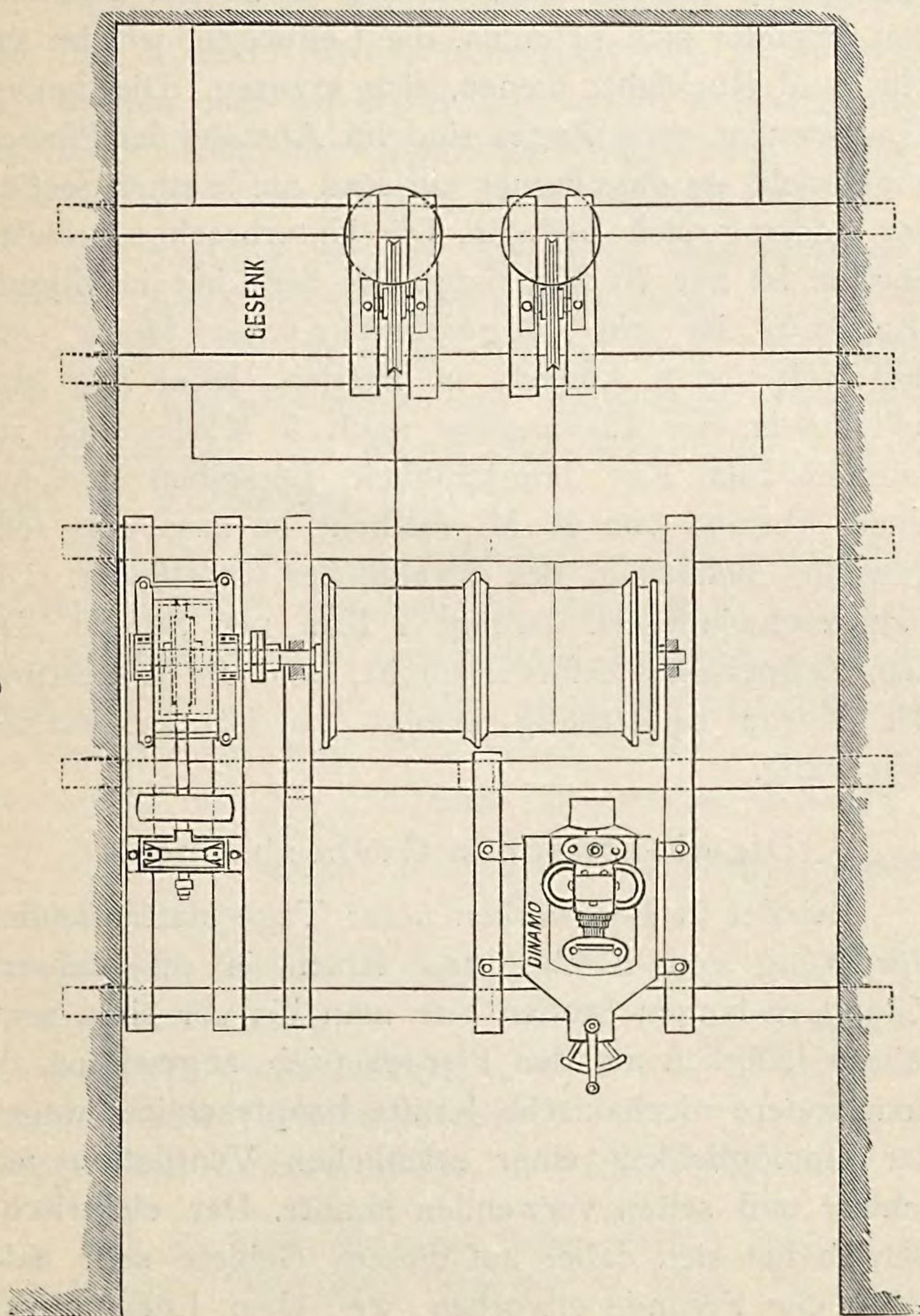
Fig. 40.



je länger, je mehr einführen. Die Vorzüge dieser oberirdischen Bahnen liegen auch hauptsächlich darin, dass keine Terrain-Erwerbungen nothwendig sind und Steigungen und Gefälle wenig Einfluss auf die Anlagekosten haben. Eine weitere Anwendung im Bergbau

hat man für die Zwecke der Kübelförderung gemacht. Fig. 40 und 41 giebt eine Ansicht eines elektrischen Göpelwerkes.

Fig. 41.



Bei der elektrischen Lastenförderung auf den sogenannten Telepherlinien sind die hintereinander laufenden Locomotiven dadurch parallel geschaltet, dass bei jedem Pfosten, welche in 20 M. Abstand von einander sich befinden, die Leitungen, welche zur Hin- und Rückfahrt dienen, sich kreuzen. Die beiden Contacträder eines Zuges sind im Abstand der Pfosten angebracht, so dass immer ein Rad auf je einer Section der Leitung sich befindet. Die Unterbrechung dieser Section ist nur 75 Mm. lang. Bei der Linie in Glynde (England) ist ein Reckenzaun'scher Motor mit 200 Volt und 8 Ampère in Betrieb. Jeder Zug enthält ausser der Locomotive noch 5 Körbe, mit zusammen 1400 Kg. Tragfähigkeit. Dieselben sind auf einen Abstand von 40 M. vertheilt, so dass eine sehr günstige Belastung des Drahtseiles stattfindet. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 7 Km. per Stunde. Da kein Zugpersonal erforderlich ist, und die Entleerung der Körbe selbstthätig erfolgt, so ist der Betrieb sehr billig.

Die elektrischen Grubenbahnen.

Bei der in Bergwerken unter Tage stattfindenden Förderung von Kohlen und Erzen in oft mehrere Kilometer langen Stollen war man bis vor circa zehn Jahren lediglich auf den Pferdebetrieb angewiesen, da man andere mechanische Kräfte hauptsächlich wegen der Unmöglichkeit einer reichlichen Ventilation nur schwer und selten verwenden konnte. Der elektrische Betrieb hat sich daher auf diesem Gebiete sehr bald zahlreiche Freunde erworben, weil eben Locomotiven

aller Art mit Dampf, Luft etc. meistens ausgeschlossen sind und der Pferdebetrieb kostspielig und wenig leistungsfähig ist.

Man hat für diese Zwecke sowohl das directe wie das indirecte Stromzuführungssystem angewendet. Als Beispiel einer solchen Anlage soll im Nachstehenden die Beschreibung der elektrischen Grubenbahn »Hohenzollern-Grube« bei Beuthen O. S. gegeben werden.

Als Leitung für den Strom in den befahrenen Stollen dienen kleine eiserne T-Schienen, welche an Doppel-Isolatoren im First befestigt sind. Auf ihnen schleifen Contactschlitten mit zahlreichen federnden Stahlcontacts, von denen eine metallische Leitung nach der Locomotive führt.*)

Von der über Tage aufgestellten Dynamomaschine führen Bleikabel den Schacht hinunter zu den Contactschienen im First des Stollens. Zunächst wurde die Bahn für etwa 1 Km. Länge projectirt und mit einer Locomotive befahren, während sie jetzt bedeutend verlängert ist und mit mehreren Locomotiven arbeitet.

Bei der ersten Einrichtung wurden folgende Längen verlegt:

Länge eines Kabels im Schacht	230 M.
Länge beider Kabel	460 »
Länge einer Contactschiene	752 »
Länge beider Contactschienen	1504 »
Länge einer Leitung mithin	$752 + 230 = 982$ »

*) S. die Beschreibung des Verfassers in der Zeitschrift der Internationalen elektrischen Ausstellung zu Wien 1883. Hartleben, Wien.

Der Widerstand der Leitungen sollte in minimo betragen:

für die Schienen	0·6 S. E.
für die Kabel	0·3 S. E.
Summa	0·9 S. E.

Die nach mehrwöchentlichem Betriebe ausgeführten Messungen in Bezug auf Leitungs- und Isolationswiderstand ergaben, dass die Grösse derselben, hauptsächlich die der Isolation, ziemlichem Wechsel unterworfen ist. Die Ursachen hiervon sind verschiedener Art. Zunächst zeigte es sich, dass bei wechselnder Stärke der Schicht und Anzahl der Pferde, sowie wechselnder Stärke der Wetterführung, der Feuchtigkeitsgehalt in der Grube sehr schwankte. Es bildeten sich in Folge dessen auf den Hartgummi-Isolatoren und Contact-Schienen an den Arbeitstagen starke Niederschläge, welche an den Sonntagen, wo die Grube nicht befahren wurde, fast gänzlich fehlten.

Der Uebergangswiderstand zwischen den Leitungsschienen und den Contactschlitten wurde nicht allein durch obige Umstände, sondern auch durch Schmutz, besonders am hinteren Ende des Stollens, modificirt.

Das den Strom den Schacht hinableitende Kabel enthält 7 Kupferdrähte von zusammen 27·89 Mm. Kupferquerschnitt.

Unter Abzug des Widerstandes der bei den Messungen verwendeten Drähte an den Instrumenten ergaben sich folgende Resultate:

Widerstände:

Widerstand der 460 M. Kabel . . .	0.313 S. E.
» » 1504 » Contact-Schienen	0.353 » »
» von Kabel und Schienen zusammen	0.666 » »
zwischen Contactschlitten und Schienen	0.245 » »
derselbe variirte bis zu	0.639 » »
war jedoch mitunter auch = 0.	
» der Locomotive inclusive Zuführungsseilen	1.943 » »
» des Drahtwiderstandes, der beim Anfahren und Halten eingeschaltet wurde, in 7 Stufen	2.17—35.8 S. E.

Isolation swiderstand:

Bei geringer Feuchtigkeit	34.000 S. E.
bei Feuchtigkeit:	
die Contact-Schienen gegen einander	11—14.000 » »
» » » » » Erde	5.670 » »
Die Primär-Dynamomaschine Mod.	
Do gab bei 277 Touren, Stromstärke	34.3 Ampère
Spannung an den Klemmen	321 Volt.

Die Magnete waren compound gewickelt. Die Secundär-Maschine (Motor in der Locomotive) machte 800—1000 Touren per Minute.

Die fortzubewegende Last war folgende:

Wagen leer	550 Kg.
Wagenladung $6\frac{1}{2}$ Hl. Kohlen	500 »
Wagen mit Kohlen beladen Summa	1050 Kg.
Zug von 15 Wagen mithin	15750 »
Locomotive (mit Blei belastet)	2100 »
totale Last des Zuges	17.950 Kg.

Die angestellten Versuche haben ergeben, dass auf den Geleisen der Grubenbahn für 10.000 Kg. Last etwa 15 Kg. Zugkraft erforderlich sind bei einer Maximal-Geschwindigkeit von 4 M. per Secunde. Es wird jedoch meist nur mit 10—12 Wagen gefahren und mit 3 M. per Secunde. Es war jedoch nach Verbesserung der Geleise, Beseitigung des Schmutzes auf den Schienen und Aufsetzen guter Räder eine weit geringere Zugkraft erforderlich. Die beim Bremsversuch ermittelte Leistung betrug 14·9 elektrische P. S., so dass die Locomotive also circa 5 effective P. S. entwickelte. Bei Eröffnung des Betriebes waren Schienen und Wagen in nicht besonders günstigem Zustande, so dass man nur 4—5 Wagen zugleich befördern konnte. Erst nachdem die Locomotive mit Blei beschwert, die Schienen von Schlamm und Schmutz gesäubert, und gute Räder an die Wagen gesetzt waren, erreichte man die oben angegebene Leistung. Die Locomotive wog ursprünglich

1750 Kg., dazu noch
348 » Bleiplatten

Summa 2098 Kg. oder rund 2100 Kg.

Die Dimensionen der Locomotive sind:

grösste Länge 2300 Mm.

» Breite 920 »

Spurweite . . 625 »

Ueberstand an den Enden der Sitze über die Axenmitte 625 Mm.

An Baumaterial wurde gebraucht:

436 Stück Contactschienen à 4 M. = 1744 M.

436 » verzinnte Doppellaschen mit je 4 verzinnten Schrauben,

218 Stück verzinkte Doppelisolatoren mit Hartgummihülseenträgern und je zwei verzinnten Mutter-schrauben,

460 M. Bleikabel à Km. 0·7 S. E.

37 Kg. Zinn, 1 Kg. Hartloth, 257 Kg. Spiritus. *)

Die Anlagekosten betrugen exclusive Transmission und Riemen und ohne Dampfmaschine, jedoch inclusive Reservearmaturen rund 24.000 Mark.

Zum Antrieb dient eine 90 P. S. Dampfmaschine (alte Fördermaschine), die jetzt bei zweigeleisigem Betriebe zwei primäre Dynamos treibt.

Der Betrieb dauert von 6¹/₂ Uhr Morgens bis 5 Uhr Abends mit kleiner Mittagspause und einigem Aufenthalt zum Schmieren. Auf circa 750 M. Betriebslänge fahren die Züge mit 15 Wagen ein Mal leer und ein Mal beladen in noch nicht 15 Minuten, so dass bei schwacher Förderung und nicht voller Ausnützung

*) Ueber Anfertigung der Löthstellen siehe Hartleben, Elektrotechnische Bibliothek Bd. 24. J. Zacharias, Unterhaltung und Reparatur der Leitungen. S. 44.

der Belastungsfähigkeit die Locomotive durchschnittlich nur 2·5 M. per Secunde macht. Bei sehr feuchten Schienen wird Sand gestreut, wozu man bei 48 Zügen täglich 4 Hl. Sand braucht. Mit nur 8 Wagen ist kein Sandstreuen und keine Beschwerung der Locomotive mit Bleiplatten nöthig. Die grösste Steigung der ganzen Strecke beträgt nur 0·5 M. Die Weichenstrecken sind 6·4 M. und 4·83 M. lang mit Curven von 10·9 M. Radius. Andere Curven kommen auf dieser Strecke nicht vor, bei späterer Verlängerung der Bahn sind Curven von 5—10 M. Radius zu befahren.

Die Bahn ist zweigeleisig angelegt, hat am Förderschacht jedoch zum Rangiren 3—5 Geleise.

Bei eingleisigem Betriebe und 40 Zügen täglich beträgt die gesammte geförderte Kohlenmenge bei 500 Kg. per Wagen $15 \times 500 \times 40 = 300.000$ Kilo. Der Betrieb ist äusserst billig, da nur Kohlengrus gefeuert wird, den man im Ueberschuss auf die Halde wirft. Der Dampf wird aus den für die Grube benutzten Kesseln entnommen. Den Zug bedient nur ein junger Mensch, welcher zugleich Locomotivführer ist. Mit grosser Geschicklichkeit hält er, beim Förderschacht angekommen, einen Moment an, greift von seinem Sitz aus, sich rückwärts drehend, nach der Kuppelung, hängt die Locomotive ab und fährt, die Leitungsseile der Contactschlitten herumwerfend, vor den bereitstehenden leeren Zug; ähnlich verfährt er am Füllorte.

Die elektrischen Boote.

Es kann wohl kaum davon die Rede sein, im Schifffahrtsbetriebe die Elektrizität im Allgemeinen als

Triebkraft einzuführen. Dieselbe bietet jedoch für kleinere Boote, etwa bis zu 60 Personen, gewisse Vortheile und Annehmlichkeiten. Das erste elektrisch betriebene Boot war wohl das, welches Jakoby 1837 auf der Newa versuchte. Hierzu gebrauchte er jedoch galvanische Elemente, während Trouvé 1881 und Reckenzaun 1882 den Strom durch Accumulatoren erzeugten.

Seit jener Zeit hat man nicht nur für Vergnügungszwecke elektrisch betriebene Boote eingerichtet, sondern auch zum Nachrichten-, resp. Spiondienst der Polizei und Marine. Wie bei den Strassenbahnen, so war es auch hier wieder Reckenzaun, welcher auf diesem Gebiete eine umfangreiche Thätigkeit entwickelt hat.

Allerdings versucht man auch unterseeische, resp. Torpedoboote durch diese neue Kraft zu betreiben.

Es mag hier gleich erwähnt werden, dass man auch für die Zwecke der Luftschiffahrt zur Steuerung des Luftballons Elektromotoren angewendet hat.

Der elektrische Betrieb für diese Zwecke ist insofern vortheilhafter als Dampftrieb, als Geräusch, Geruch, Russ und Rauch bei demselben ausgeschlossen sind; Umstände, welche besonders bei Vergnügungsfahrten grosse Annehmlichkeiten besitzen. Eine ausgezeichnete Leistung ergab das elektrische Boot »Volta« von Reckenzaun, mit welchem er im Jahre 1886 eine interessante Probefahrt von Dover nach Calais und zurück machte. Die Einrichtung seiner Boote ist in den Figuren 42—44 und der Elektromotor dazu in den Figuren 45—48 abgebildet.

Fig. 42.

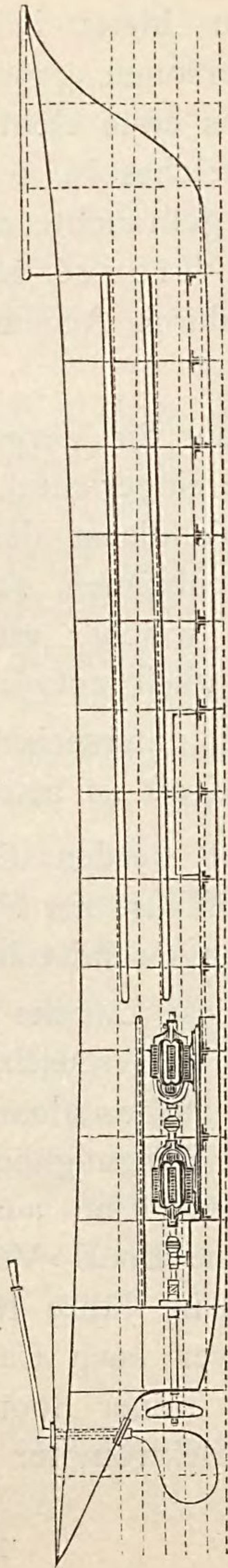


Fig. 43.

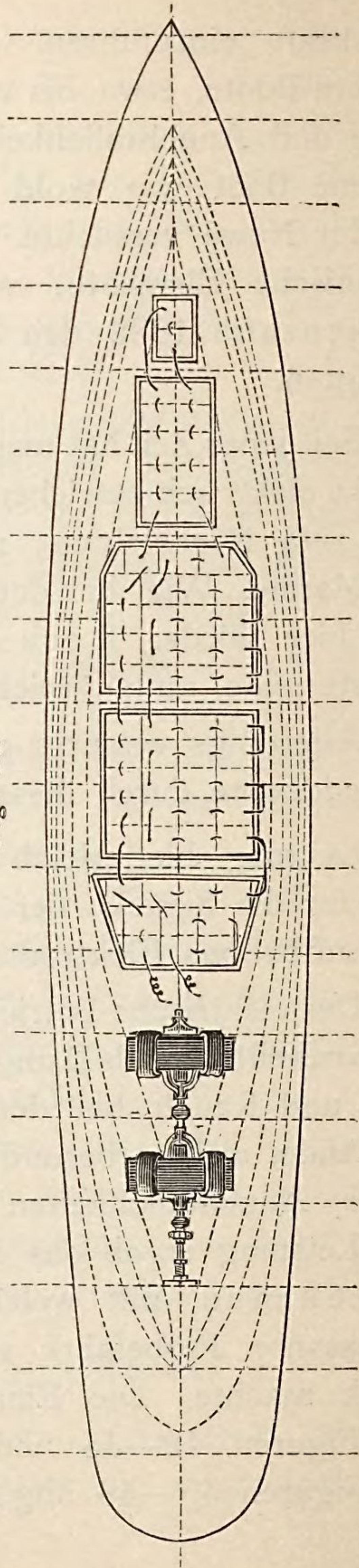


Fig. 44.

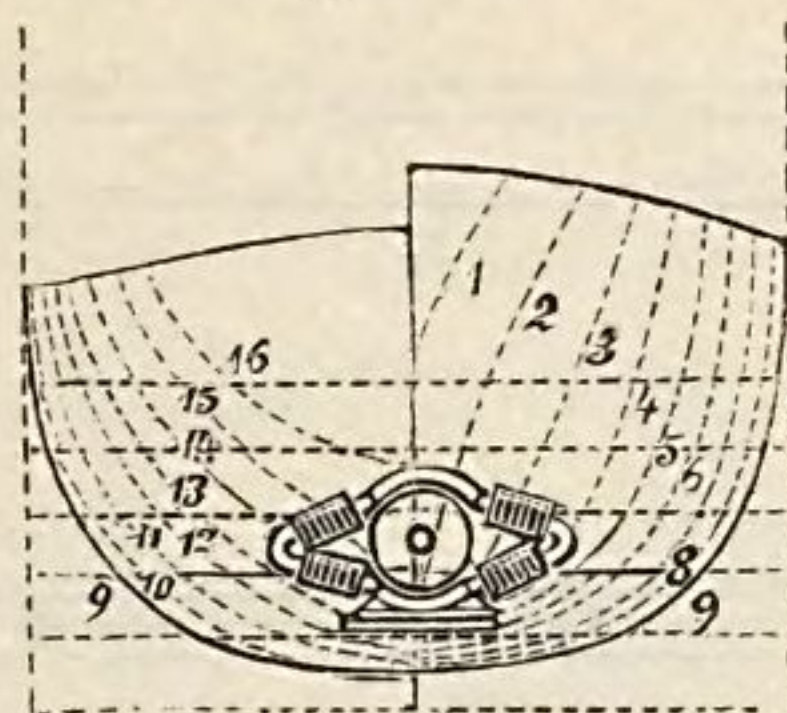


Fig. 45.

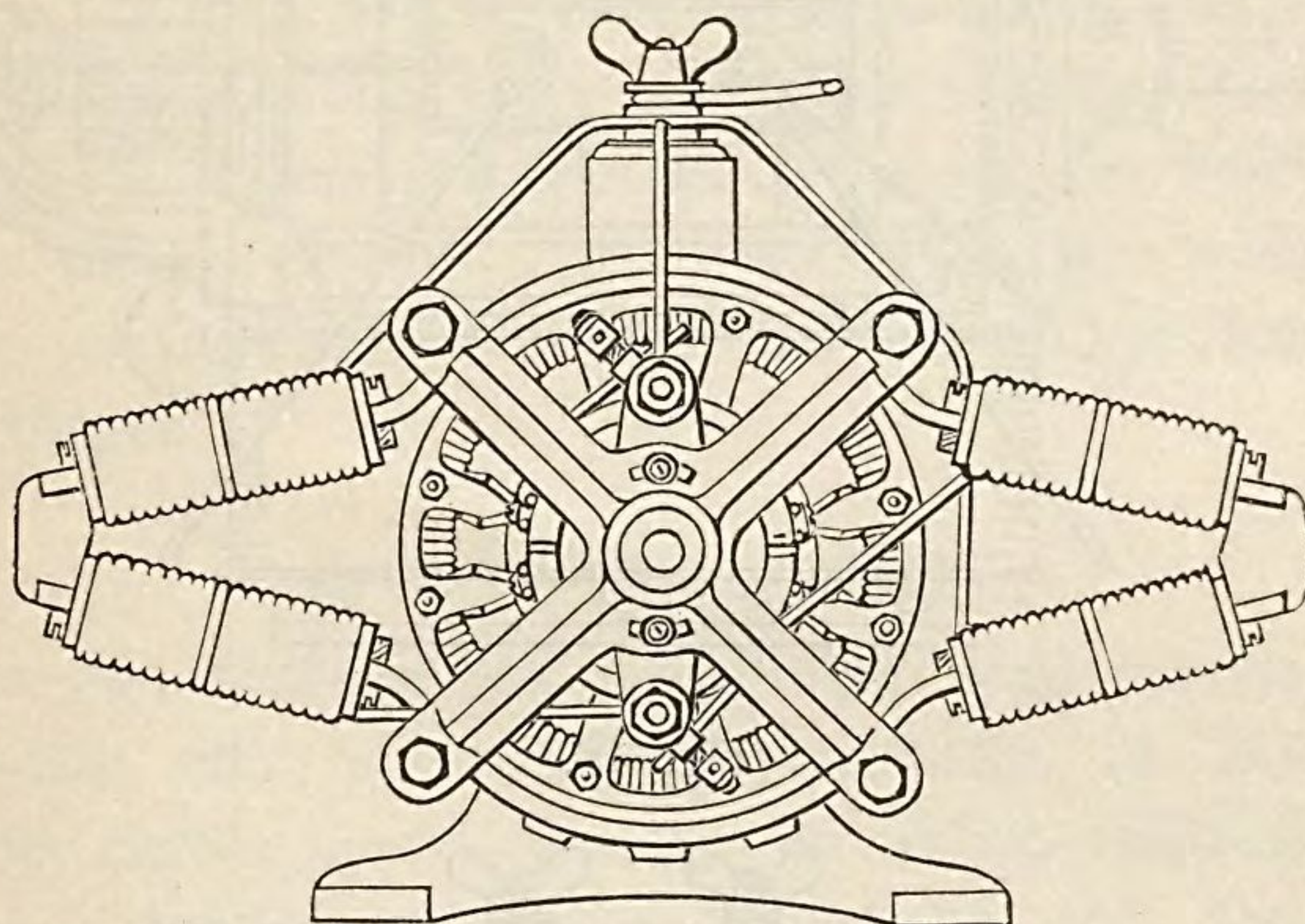


Fig. 46.

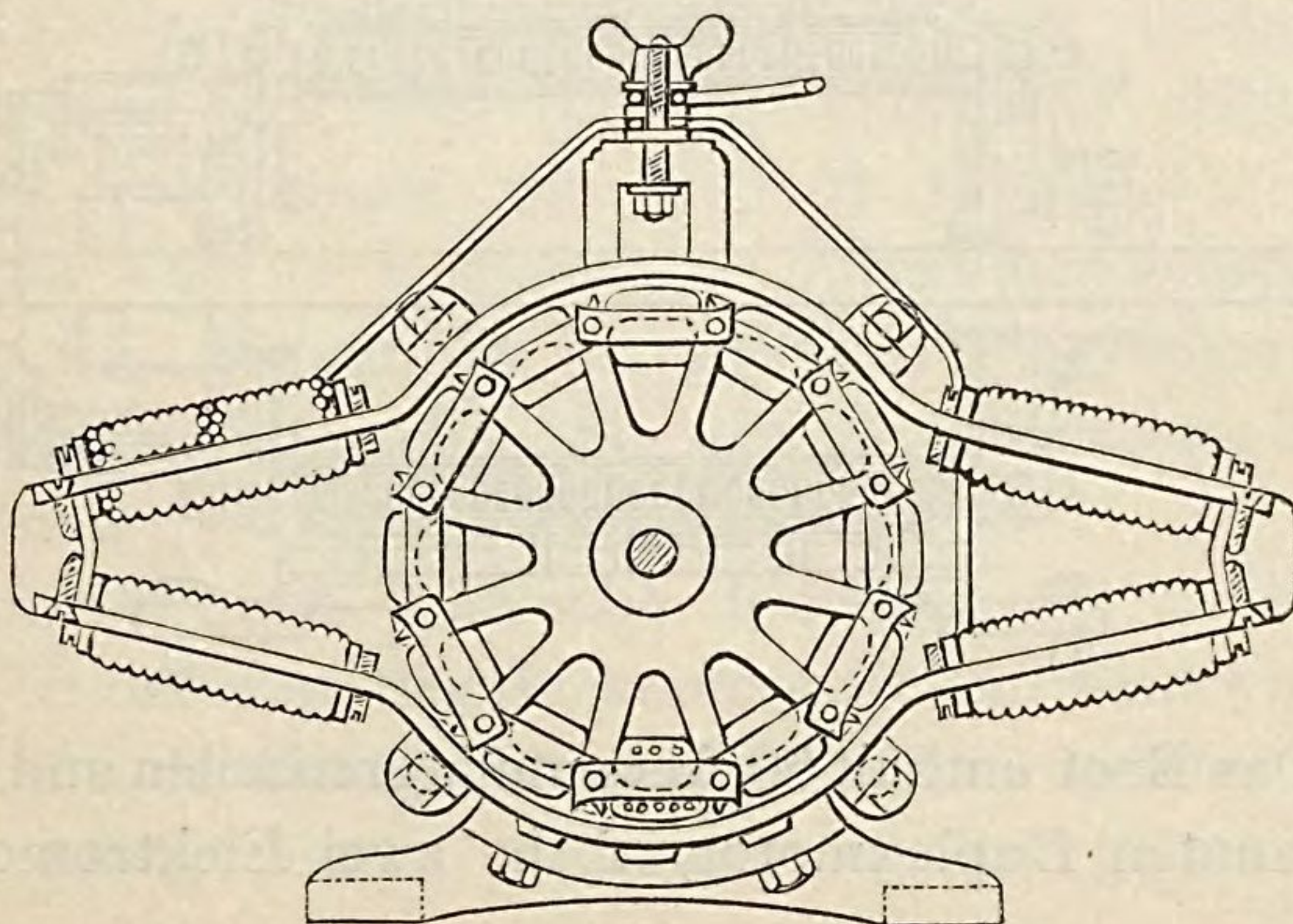


Fig. 47.

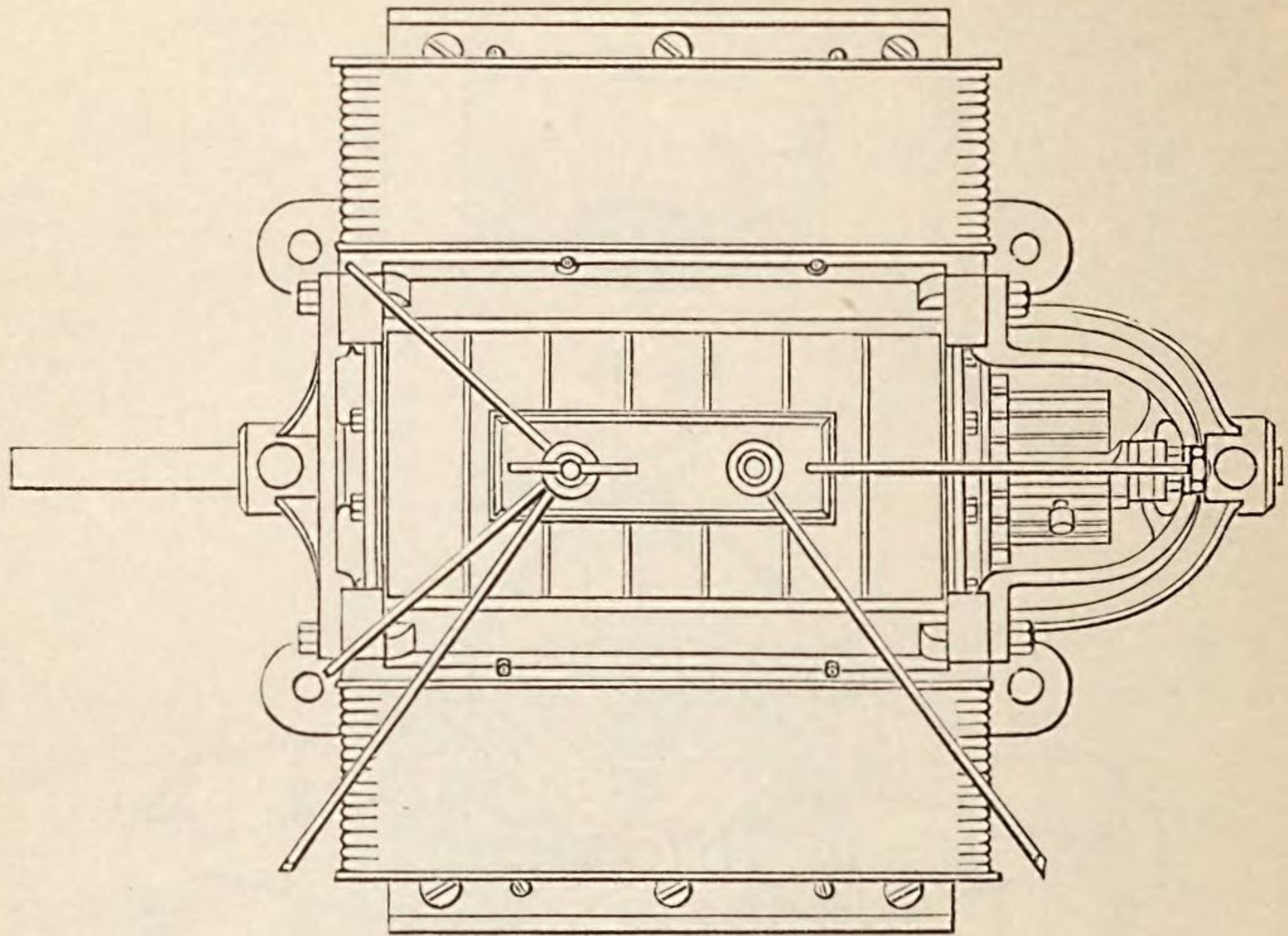
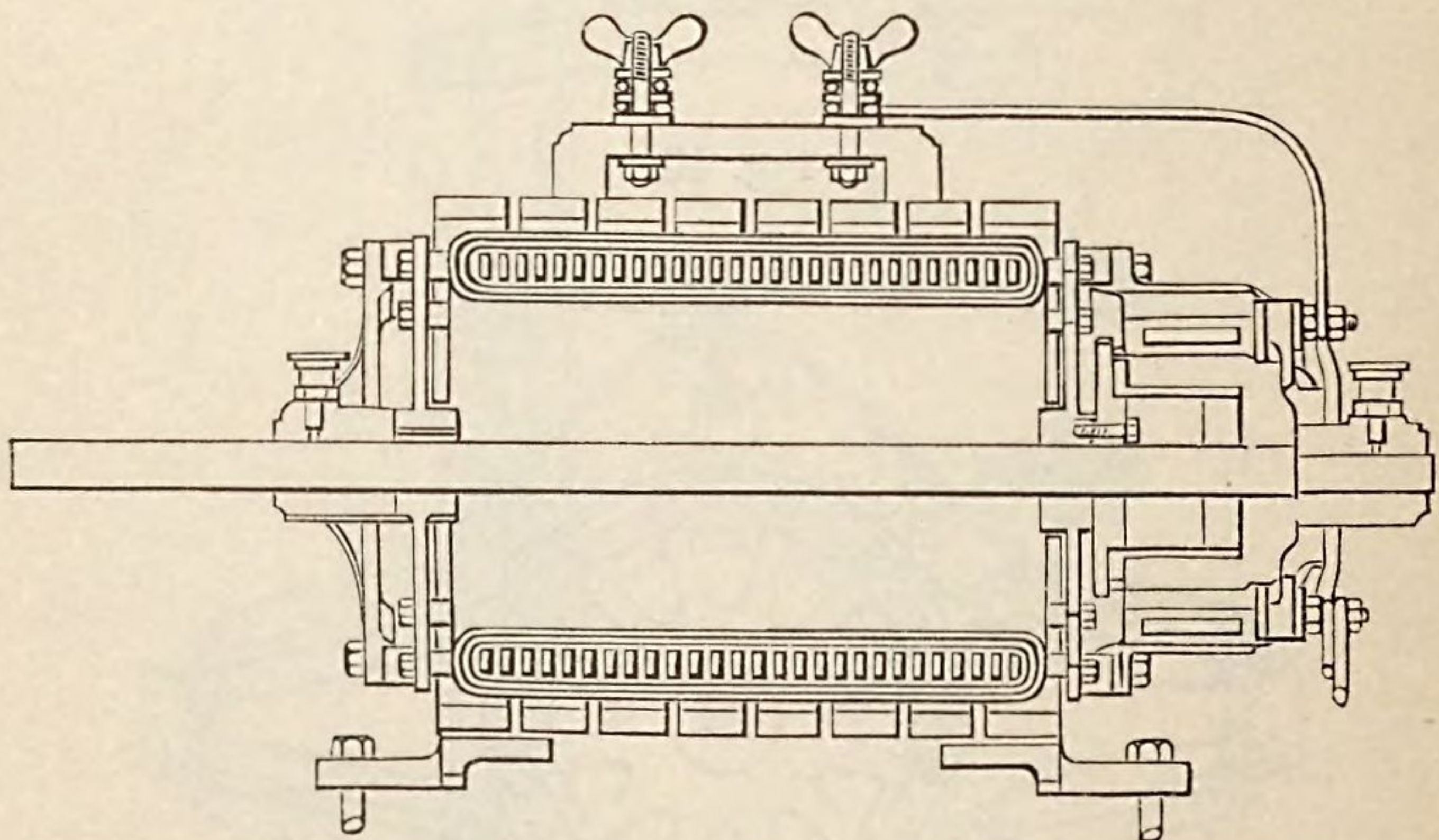


Fig. 48.



Das Boot enthält 60 Accumulatorenzellen und einen sogenannten Duplexmotor, d. h. zwei Elektromotoren

auf gemeinsamer Welle, die mit der Schiffsschraube direct gekuppelt ist. Durch diese Einrichtung ist es möglich, wie bei den Strassenbahnwagen die Fahrgeschwindigkeit nach Bedürfniss zu ändern, indem man die Motoren mit der Batterie verschiedenartig durch einen Umschalter combinirt. Es wird hierdurch die Bedienung des Bootes ungemein vereinfacht, es genügt dazu ein Mann, welcher Steuer und Umschalter zugleich handhaben kann und dessen technische Ausbildung für diesen Betrieb keine besonderen Schwierigkeiten bietet. Indem wir dieses Capitel schliessen, wollen wir uns nunmehr mit den Kosten des Betriebes beschäftigen.

6. Betriebsergebnisse.

In den nachstehenden Tabellen sind die Betriebsergebnisse der elektrischen Stadtbahn zu Budapest für die ersten neun Monate im Jahre 1890 wiedergegeben, sowie der Gesamtverkehr auf den drei Linien derselben Bahn.

Tabelle III zeigt die Förderkosten der elektrischen Grubenbahn in Zaukeroda und Tabelle IV diejenigen für eine Telpherlinie, wie die z. B. in Glynde.

Die Tabelle V giebt eine Zusammenstellung aus den in Fig. 33 und 34 dargestellten Diagrammen des Elektrizitätsverbrauches für den Accumulatorenbetrieb in Hamburg.

Ueber diese Versuche hat Herr J. L. Huber einen besonderen Bericht herausgegeben, dem wir noch nachstehende Daten entnehmen: Wie an anderer Stelle schon gezeigt wurde, schwankt der Energieverbrauch

I. Betriebs-Resultate der Budapester Stadtbahn vom 1. Januar bis 31. October 1890.

Monat	Stationsgassenlinie. Eröffnet 30. Juli 1889				Podmaniczkygassenlinie. Eröffnet 10. Sept. 1889				Ringstrassenlinie. Eröffnet 6. März 1890.				Monats- Ein- nahmen für alle drei Linien fl.
	Fahrten	Wagen- Kilometer	Beförderte Personen	Personen p. Wa- gen-Kilometer	Fahrten	Wagen- Kilometer	Beförderte Personen	Personen p. Wa- gen-Kilometer	Fahrten	Wagen- Kilometer	Beförderte Personen	Personen p. Wa- gen-Kilometer	
Januar	6462	16.155	74.350	4.60	4776	16.716	30.846	1.90	.	.	.	.	6.919.60
Februar	6408	16.020	80.186	5.00	4628	16.198	35.397	2.18	.	.	.	.	7.547.77
März	6904	17.260	93.979	5.44	5046	17.661	60.781	3.44	8.224	15.626	121.638	7.78	16.656.44
April	6898	17.245	105.056	6.09	6170	21.595	80.410	3.72	8.868	16.849	151.734	9.00	20.458.64
Mai	7380	18.450	111.448	6.04	6884	24.094	101.386	4.20	9.596	18.232	174.820	9.58	23.816.14
Juni	7120	17.800	101.692	5.71	6602	23.107	80.565	3.48	9.618	18.274	161.788	8.85	20.950.88
Juli	7204	18.510	102.253	5.52	7498	26.243	83.775	3.19	10.704	20.337	159.772	7.85	21.174.35
August	7492	18.730	117.474	6.27	7784	27.244	100.775	3.69	10.654	30.387	249.317	8.20	29.327.39
September	7216	18.040	120.030	6.65	6456	22.596	84.837	3.75	10.534	32.655	278.070	8.51	30.128.66
October	7400	18.500	125.775	6.79	6566	22.977	71.092	3.09	12.133	37.612	329.484	8.76	32.455.56

II. Gesamtverkehr auf allen drei Linien von der Eröffnung bis October.

Linien in Betrieb	Stations- gasse	Pod- maniczky- gasse	Ring- strasse	Zusammen
Fahrten	100.248	78.101	80.331	258.680
Wagen-Kilometer .	251.120	273.353	189.972	714.445
Beförderte Personen	1,444.659	869.106	1,626.623	3,940.483
Personen per Wagen- Kilometer	5.75	3.18	8.56	5.51

III. Betriebskosten für die elektrische Grubenbahn in Zaukeroda.

Förderkosten für 1 Hund = 475 kgr. Kohle auf 620 Meter.

Wenn gefördert werden in 1 Tag zu 16 Stunden	Elektrische Förderung		Pferde- förderung	Menschen- förderung
	ohne	mit		
	15proz. Verzinsung u. Tilgung des Anlage- capitals			
660 Wagen .	1.78 Pf.	3.01 Pf.	3.71 Pf.	6.2 Pf.
800 » .	1.69 »	2.70 »	3.70 »	6.2 »

ganz bedeutend je nach der Beschaffenheit der Schienen, der Terrainverhältnisse und der Jahreszeit.

IV. Betriebskosten der Lastenförderung in Glynde.*)

Die Kosten giebt Perry durch folgende Formel an (welche auf deutsche Währung umgerechnet ist); Sollen auf einer zweispurigen Linie von x Kilometer Länge jährlich y Tonnen Material in einer Richtung befördert werden, während die leeren Körbe in der anderen Richtung zurücklaufen, so kostet die Anlage: $5500 + 220x + 0.017xy$ Mark, der Betrieb, einschliesslich 15 Prozent Capitalszins und Amortisation: $\frac{244.000}{xy} + \frac{120.000}{y} + 9.6$ Pfennig für das Tonnenkilometer.

Die folgende Tabelle ist nach dieser Formel berechnet; die Zahlen sollen nur einen näheren Anhalt für eine etwaige Schätzung geben; sie gelten genauer vielleicht für englische Verhältnisse.

Länge der Linie in Km.	jährlicher Transport in tausend Tonnen.									
	20		40		60		100		200	
	An- lage in Mark	1 T. und Km. in Pf.	An- lage in Mark	1 T. und Km. in Pf.	Anlage in Mark	1 T. und Km. in Pf.	Anlage in Mark	1 T. und Km. in Pf.	Anlage in Mark	1 T. und Km. in Pf.
$x = 1$	6100	28	6500	19	6700	16	7400	13	9100	11
2	6600	22	7300	16	8000	14	9300	12	12700	11
3	7200	20	8200	15	9200	13	11300	12	16400	11
4	7700	19	9100	14	10500	13	13200	11	20000	11

Gewöhnlicher Karrentransport kostet nach Perry etwa 60 Pfennig für das Tonnenkilometer.

*) Strecker's Handbuch der Elektrotechnik.

V. Zusammenstellung des Elektrizitätsverbrauchs der elektrischen Strassenbahnwagen Nr. 61 und 86 zwischen Hamburg und Barmbeck von Anfang Mai bis Ende December 1886.

Wagen Nr.	Ladung Std. Volt Ampère	Entladung		Durchschnitt- liche p. ge- fahrenen Km. Std. V. A.	Gewicht			Bemerkungen	
		während	und ge- fahrene Km.		Wagen, leer	der Passagiere	des besetz- ten Wagens		
									St.
61	4,019.077.5	882	1	9.080.127	442.59	4830	2170	7000	14 Sitze innen, 8 Personen hinten, 7 vorne, 1 Kutscher, 1 Schaffner (Summa 30 Pers.)
86	1,007.447.8	236	51	2.395.609	545.77	6000	2240	8240	20 Sitze innen, 6 Personen vorne, 4 hinten, 1 Kutscher. 1 Führer (Summa 31 Pers.)

Es entfallen mithin pro 100 Kgr. Wagengewicht und 1 Km. Weg Stunden Volt Ampère

	des leeren Wagens		des vollbesetzten Wagens		im Mittel
	Nr.				
61	9.16	6.32	7.74		
» 86	9.10	6.62	7.86		

Dieser bedeutende, wenn auch nur an einzelnen Tagen für den Betrieb erforderliche Kraftverbrauch bietet aber nicht nur einen Anhalt für die zu wählenden Constructionen und Anordnungen der elektrischen Wagen, sondern zeigt gleichzeitig, welchen Anstrengungen die Pferde im Strassenbahnbetriebe ausgesetzt sind, und erklärt es, dass trotz ausgezeichneter Wartung und Pflege die Pferde durchschnittlich nur fünf Jahre im Strassenbahnbetriebe ausdauern und dann, zu durchschnittlich circa $\frac{1}{4}$ des Einkaufspreises verkauft werden müssen; — dass eine derartige Ueberanstrengung der Pferde beseitigt werden muss, ist wohl nicht zu bestreiten, aber ehe dieses geschehen kann, muss ein entsprechender Ersatz für dieselben geschaffen werden.

Es sei hierbei noch erwähnt, dass ein Pferd etwa 7—800 Kg. wiegt und ebensoviel Mark kostet als es schwer ist.

Die Versuche haben ergeben, dass im Mittel der ganzen Betriebszeit und der beiden Wagen für 100 Kg. Wagengewicht und 1 Km. Weg im Mittel 7·8 Voltampère-Stunden erforderlich sind.

Ein Wagen von 8590 Kilo Gewicht braucht also 663 Voltampère-Std.

» » » 10500 » » » » 819 » »

Hierunter ist die zum Laden der Accumulatoren erforderliche Leistung verstanden. Da eine gute Dynamomaschine für eine P. S. 600 V. A. ausgiebt, so braucht

ein Wagen mit 30 Plätzen 1·10 P. S. St. pro Km. und

» » » 50 » 1·365 » » » » »

Rechnet man bei sehr ökonomischem Betriebe die P. S. St. mit 7 Pfennigen, so kostet der Wagen-Km. für obige Wagen 8, respective 9·3 Pfennige für die Maschinenarbeit, dazu noch 5 Pfennige für die Unterhaltung der Accumulatoren ergibt die Kosten der elektrischen Zugkraft per Wagenkilometer 13, respective 14·5 Pfennige. Vergleichen wir hiermit die Kosten des Pferdebetriebes, so stellt sich derselbe wie folgt:

Für einen zweispännigen Wagen mit Decksitzen, der täglich 110 Km. fährt, sind mindestens 12 Pferde erforderlich, deren Unterhaltung pro Tag und Pferd unter günstigen Umständen, wie z. B. in Hamburg 1887, 192·5 Pfennige gekostet hat oder für 12 Pferde 2310 Pfennige. Es stellt sich der gefahrene Wagenkilometer bei

Pferdebetrieb auf	21	Pfennige
bei Dampfbetrieb »	14·6	»
» Accumulatoren »	14·5	»

Der billige Preis des Dampfbetriebes ist jedoch nur dann zu erzielen, wenn jede Locomotive zwei gekoppelte Wagen mit möglichst vielen Plätzen befördert. Bei den Versuchen, welche 1887 mit dem System Ellison auf der Stratforder Linie gemacht wurden, lieferte die elektrische Gesellschaft die Zugkraft mit 23·8 Pfennigen für den Kilometer.

Die betreffende Pferdebahngesellschaft erklärte sich jedoch auch bereit, eventuell 31·7 Pfennige oder noch etwas mehr zu zahlen, so dass sie dann immer noch ein gutes Geschäft machen wird.

Diese der Praxis entnommenen Zahlen zeigen klar und deutlich, dass der Accumulatorenbetrieb selbst in seinem heutigen Stadium eine ganz rentable Sache sein kann. Selbstverständlich wird der Pferdebetrieb immer mehr verschwinden, sobald weitere eingehendere Versuche die Richtigkeit der obigen Zahlen erhärtet haben werden. Thatsache ist es dennoch, dass die Pferdebahngesellschaften heute nicht mehr unthätig den Fortschritten der Elektrotechnik zuschauen, sondern sich ziemlich allgemein für den elektrischen Betrieb interessiren. So ist kürzlich erst ein Theil der Strassenbahnen zu Halle für den elektrischen Betrieb eingerichtet worden und an anderen Orten ist man ernstlich damit beschäftigt, auch zu dieser neuen Betriebsart überzugehen.

Die Tabelle S. 208—211 aus der Electrical Review giebt eine Zusammenstellung einiger der bekanntesten elektrischen Bahnen in Europa und Amerika, die theilweise nach Reckenzaun's Angaben von Herrn Martin zusammengestellt ist.

Die nachfolgenden beiden Tabellen geben den Preis an, zu welchem in Amerika die elektrische Triebkraft von den Elektrizitätswerken geliefert wird.

Eine der ersten und ältesten Anlagen zur Verwerthung der elektrischen Triebkraft hatten die Herren Siemens & Halske neben ihrer Fabrik in der Markgrafenstrasse seinerzeit eingerichtet. Es war dies ein Elektromotor von der Leistung 1 P. S., der zum Betriebe einer Metalldruckerei dient. Die Kraft wurde für die tägliche Arbeitszeit von 10 Stunden für 1 M. vermietet, worin der Miethspreis für den Elektro-

motor und die Neben - Apparate noch mit inbegriffen war.

Die Berliner Elektrizitätswerke geben gleichfalls elektrische Kraft zum Betriebe von Elektromotoren zu mässigem Preis ab; es ist jedoch bislang hiervon wenig Gebrauch gemacht worden, so dass Erfahrungen darüber noch nicht vorliegen. Da die Werke im Laufe dieses Jahres bis auf eine Leistung von etwa 28.000 P. S. erweitert werden sollen, und alsdann der elektrische Strom den Haupttheilen der Stadt und allen Strassen zur Verfügung stehen wird, so ist eine ausgedehnte Anwendung der Elektromotoren auch hier zu erwarten.

Kosten für elektrische Betriebskraft in Amerika.

Die Brush-Company in Baltimore hat nachstehenden Tarif für die Benützung elektrischer Motoren aufgestellt:

0.1	P K.	. .	Dollars	2.50	monatlich
0.25	»	. .	»	3.00	»
0.5	»	. .	»	5.00	»
1.0	»	. .	»	10.00	»
2.0	»	. .	»	16.00	»
3.0	»	. .	»	21.00	»
4.0	»	. .	»	26.00	»
5.0	»	. .	»	30.00	»
6.0	»	. .	»	33.00	»
8.0	»	. .	»	42.00	»
10.0	»	. .	»	50.00	»

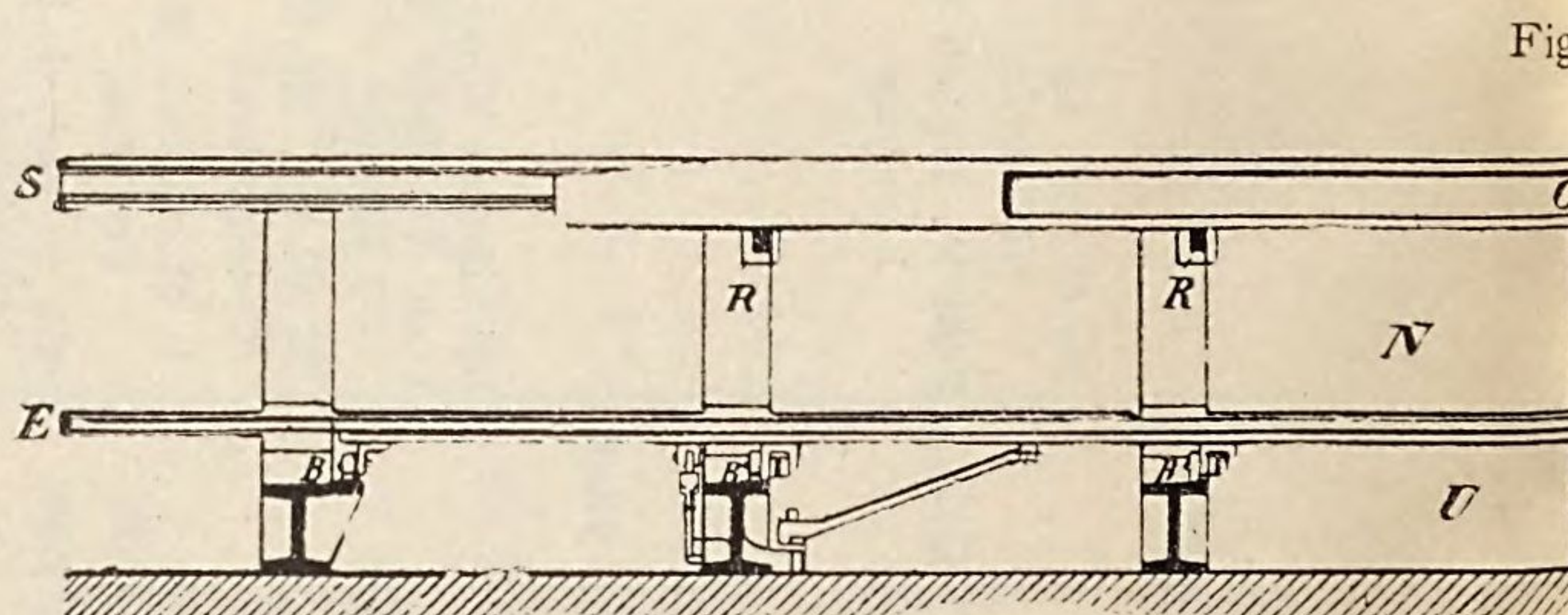
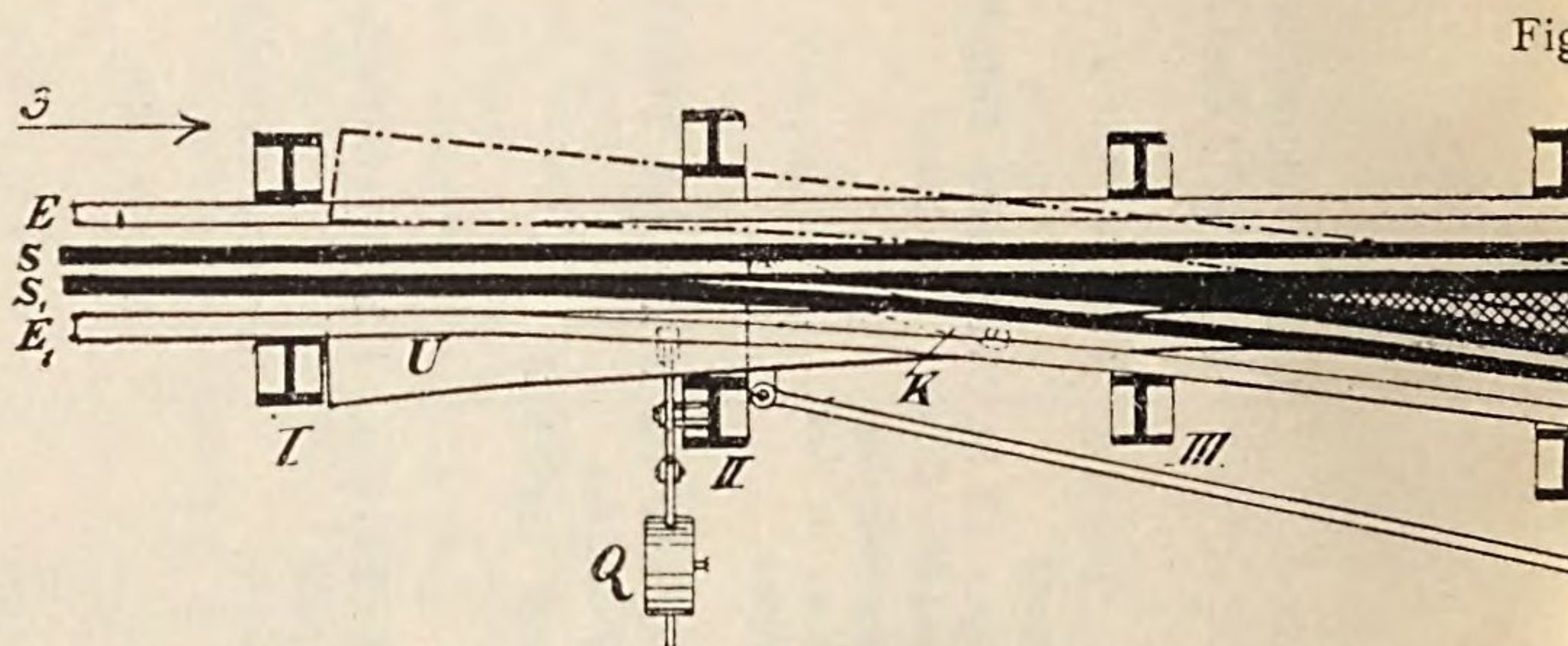
	Länge km	Gleise	Motoren, bez. Wagen mit Motoren	Beförderung
Lichterfelde bei Berlin, 1881 . .	2.4	—	2	100.000 Personen jährlich
Brighton, 1883	1.6	1	2	100.000 Personen i. J. 1886
Mödling-Hinterbrühl, 1884 . . .	4.5	1	6 und 6 Wagen ohne Mot.	340.000 Personen i. J. 1886
Frankfurt a./M.-Offenbach, 1884	6.6	1	10 » 4 » »	990.000 Personen i. J. 1886
Zaukeroda (Grube), 1882 . . .	0.62	2	1 Locom., 16 Wagen	300 t täglich
Hohenzollern (Grube), 1884 . .	0.75	2	1 » 15 »	300 t täglich
Portrush, 1883	9.6	1	4	über 100.000 Pers. bis 1885
Bessbrook, 1885	4.8	1	8	von Sept. 1885 bis Jan. 1887
				150.000 Pers. und 15.000 t
				jährlich
Blackpool, 1884	3.2	1 und 2	10	über 100.000 Pers. i. Ganzen
Brüssel, 1887	—	—	5	—
Hamburg, 1886	—	—	2	—
Baltimore, Md., 1885	3.2	1	6	260.000 Personen jährlich

Los Angeles, Cal., 1887	4.8	1 und 2	8	200.000	»	»
Port Huron, Mich., 1885/1886 .	6.4	1	8	275.000	»	»
Windsor, Can., 1885	3.0	1	—	200.000	»	»
Highland Park, Detroit, Mich., 1886	5.6	1	2	200.000	»	»
Dix Road, Detroit, Mich., 1886	2.8	1	4	300.000	»	»
Appleton, Wis., 1886	7.2	1 und 2	8	400.000	»	»
Scranton, Pa., 1886	5.2	1	3	300.000	»	»
Denver, Col., 1886	5.6	1 und 2	7	500.000	»	»
Montgomery, Ala., 1885/1886 .	17.6	1 und 2	18	1,000.000	»	»
Orange, N. J., 1887	0.8	—	1	—	—	—
Boston, Mass. (Zuckerraffinerie), 1887	ganz kurz inner- halb des Werkes	—	1 Locom., 3 Wagen	etwa 1000 t täglich		

	Betriebskosten im Ganzen	Zurückgelegter Weg	Systeme. Zuleitung des Stromes durch	Betriebs- kraft
Lichterfelde bei Berlin, 1881. . .	—	1 Wag. 24 Fahrten täglich	Schienen als Hin- u. Rückleitung	Dampf
Brighton, 1883.	10.0	760.000 Wag.-Km. jährlich	Schienen als Hin- u. Rückleitung	Gas
Mödling-Hinterbrühl, 1884 . . .	17.8	145.000 Wag.-Km. jährlich	hochgeführte, ge- schlitzte Röhren	Dampf
Frankfurt a. M.-Offenbach, 1884	20.0	470.000 Wag.-Km. jährlich	hochgeführte, ge- schlitzte Röhren	»
Zaukerode (Grube), 1882. . . .	6.4 Pf. per Tonne	660 Wagen täglich	hochgef. $\perp$ Schienen	»
Hohenzollern (Grube), 1884 . .	4.2 » » »	600 » » »	» » » »	»
Portrush, 1883.	13 Pf. p. Wag. u. Km.	—	Dritte Schiene	Wasser
Bessbrook, 1885.	21 Pf. p. Wag. u. Km.	50.000 Zug-Km. jährlich	» » »	«
Blackpool, 1884	weniger als 21 Pf. p. Wag. u. Km.	—	Leitung im gedeck- ten Canal	Dampf
Brüssel, 1887	—	—	Accumulatoren	—
Hamburg, 1886	—	—	»	—
Baltimore, Md., 1885	16 M. per Wagen und Tag	700 Wagen-Km. tgl.	Dritte Schiene und hochgef. Draht	Dampf

Los Angeles, Cal., 1887	—	—	1 u. 2 hochgef. Dr.	»
Port Huron, Mich., 1885/1886 .	—	—	1 hochgef. Draht	»
Windsor, Can., 1885	16 M. tgl. für Be- triebskraft	jeder Wag. 100 Km. täglich	1 »	»
Highland Park, Detroit, Mich., 1886	3·20 M. täglich für Feuerung	jeder Wagen 13 St. täglich, fasst 30 Fahr- gäste, Geschwindig- keit 24 Km. in der Stunde	Versenkte Mittel- schiene	»
Dix Road, Detroit, Mich., 1886	—	von 6 Uhr früh bis 11 Uhr Nachts	2 hochgef. Drähte	»
Appleton, Wis., 1886	bei eigener Wasser- kraft 1 Mann Be- dienung	17 Stunden täglich	2 »	Wasser
Scranton, Pa., 1886	36 M. tgl. für Be- triebskraft	jeder Wag. 136 Km. täglich	1 hochgef. Draht	Dampf
Denver, Col., 1886	6 M. täglich für Feuerung	—	Short u. Nesmith	»
Montgomery, Ala., 1885/1886 .	halb so viel als bei Pferdebetrieb	—	hochgef. Dr.	»
Orange, N. J., 1887	—	—	»	
Boston, Mass. (Zuckerraffinerie), 1887	—	—	—	wird von der Lichtmasch. aus gespeist.

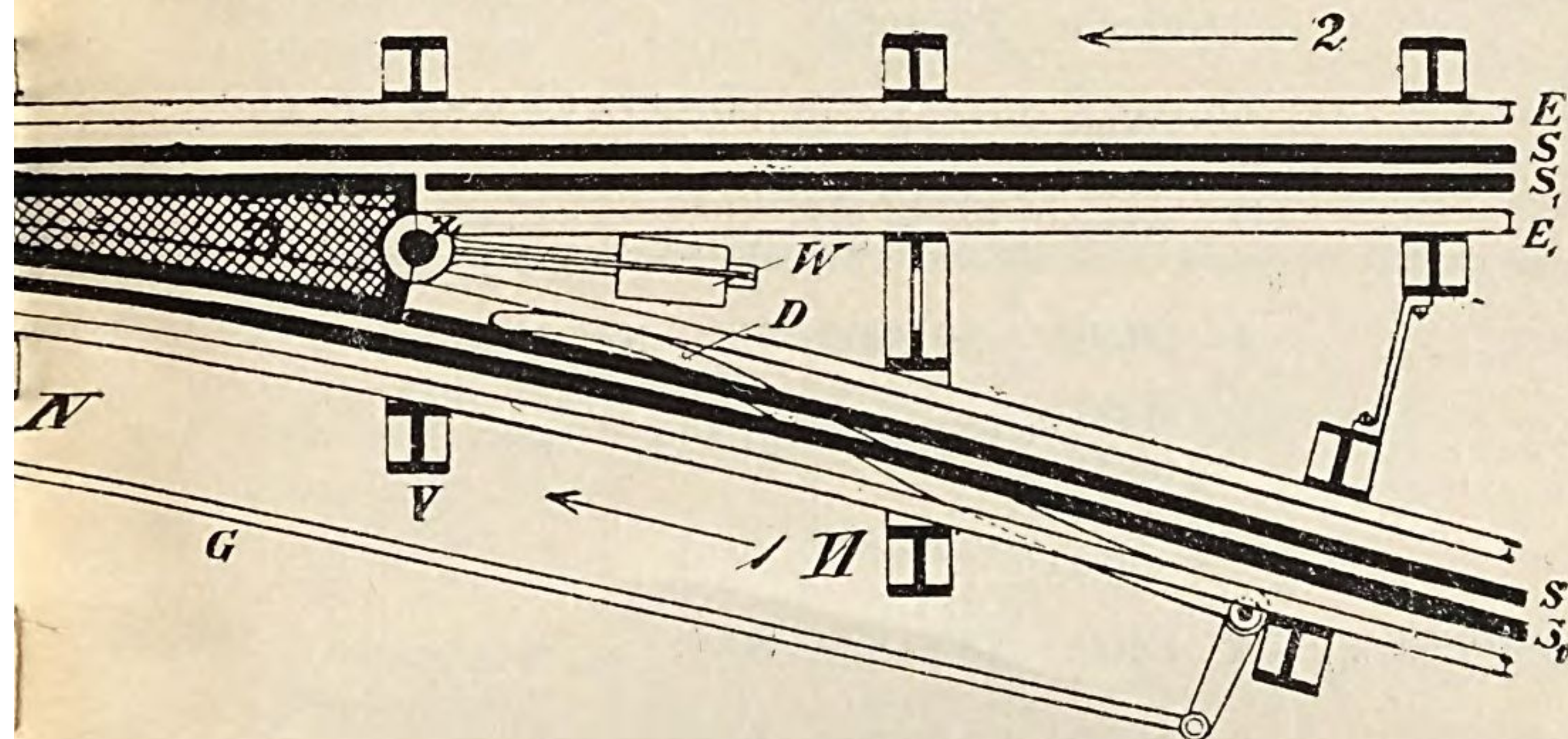
Nach anderen Angaben ist der Preis einer Pferdekraft pro Jahr für constanten Betrieb in Amerika 100 Dollars. Der Durchschnittspreis der elektrischen Kraft ist bei zehnstündiger täglicher Arbeitszeit



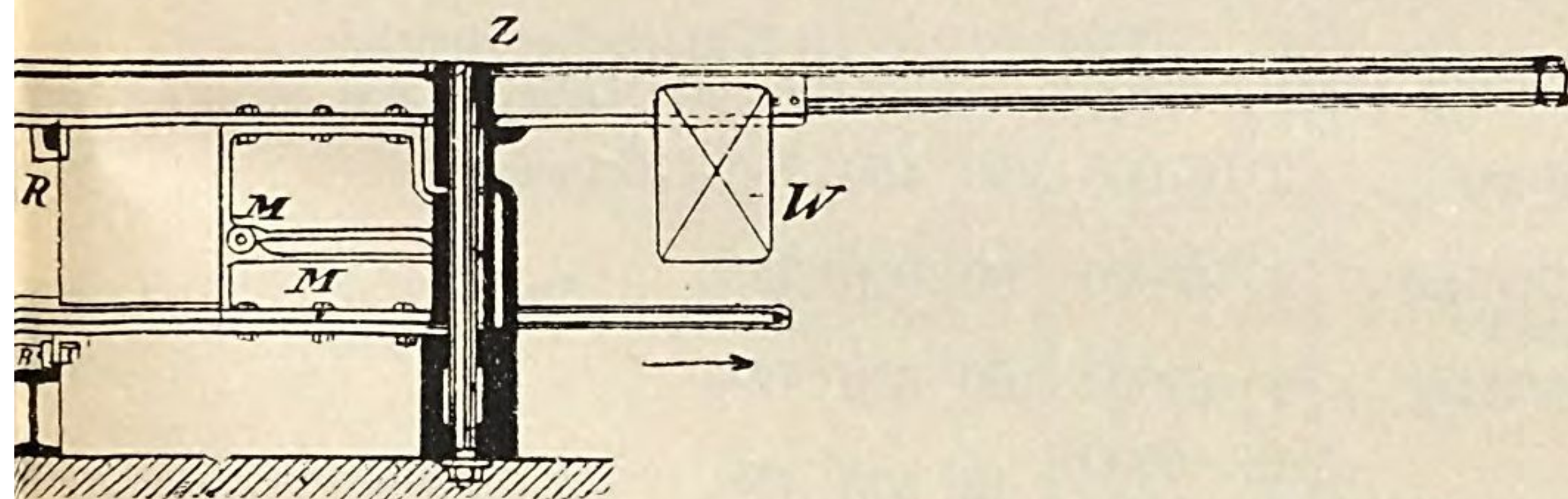
$\frac{1}{2}$	Pf. St.	. . .	75 Dollars
1	»	. . .	120 »
2	»	. . .	200 »
3	»	. . .	270 »
5	»	. . .	425 »
$7\frac{1}{2}$	»	. . .	600 »

10 Pf. St. . . . 650 Dollars
 von 15 » aufwärts 70 » pro Pf. St.
 Für nur zeitweisen Gebrauch, wie bei Aufzügen
 rechnet man bei

49.



50.



5 Pf. St. . . . 300 Dollars pro Jahr
 7¹/₂ » . . . 360 » » »
 10 » . . . 400 » » »

Nachstehend sind einige Anlagen für elektrische Kraftübertragung von verschiedenen Fabriken aufgeführt worden, unter diesen ist besonders das Ver-

zeichniss der Fabrik Oerlikon bemerkenswerth, welches so recht zeigt, wie die Anwendung der elektrischen Kraft je länger je mehr an Ausdehnung gewinnt.

Anlagen für elektr. Kraftübertragung der Fabrik Oerlikon.

O r t	D y n a m o s		L e i s t u n g		B e m e r k u n g e n
	Zahl	Watt pro Stück	P. S.	M. Ent- fernung	
Solothurn	4	20000	50	8000	75 ⁰ / ₀ Nutzeffect.
Luzern	2	{ 80000 68000 }	120	3000	70 ⁰ / ₀ »
Aarau	2	{ 10000 8000 }	15	1000	70 ⁰ / ₀ »
Derendingen(Schwz.)	4	94000	280	1300	80 ⁰ / ₀ »
Steinbach-Bern . .	2	10000	15	1300	70 ⁰ / ₀ »
Diesbach	2	80000	120	600	75 ⁰ / ₀ »
Luzern	{ 1 1 }	{ 7000 6000 }	—	—	{ Elektrischer Betrieb eines Laufkrahnes.
Piovene (Italien) . .	2	167000	250	450	78 ⁰ / ₀ Nutzeffect.
Pordenone (Italien) .	2	40000	60	1000	75 ⁰ / ₀ »
Steyrerm.-Aichberg .	2	67000	100	600	75 ⁰ / ₀ »
Oerlikon	{ 1 1 }	{ 9500 6500 }	15	300	75 ⁰ / ₀ »
Innsbruck	2	33000	50	450	80 ⁰ / ₀ »
St. Nazaire	4	1500	—	—	{ Zum Betriebe von Bohr- apparaten auf Schiffen.
Gazzaniga	1	67000	100	800	{ 72 ⁰ / ₀ Nutzeffect garan- tirt.
	1	50000			
	1	81000	120	800	
	1	58000			
Moskau	{ 2 2 }	{ 22500 16500 }	70	3500	75 ⁰ / ₀ Nutzeffect.

Anlagen für elektrische Kraftübertragung von Schuckert & Co., Nürnberg.

O r t	Leistung des Elektromotors	Entfernung	Bemerkungen
Beuthen (Grube Hohenzollern)	1 (bei 370 Volt, 700 Tour.) 30 Pf. Kr.		Ketten-förderung
Potschappel (Kohlenwerk Zaukerode)	1 (bei 390 Volt, 1150 Tour.) 10 Pf. Kr.		
Gg. Leinfelder Schrobenhausen	1 (bei 1400 Volt, 550 Tour.) 48 Pf. Kr.	ca. 1000 M.	
Louisenthal (Papierfabrik)	1 (bei 1200 Volt, 260 Tour.) 120 Pf. Kr. 1 (bei 1200 Volt, 560 Tour.) 50 Pf. Kr. 1 (bei 1200 Volt, 650 Tour.) 35 Pf. Kr.	ca. 1350 M.	
Lauffen (Cementwerk)	2 (bei 150 Volt, 700 Tour.) à 10 = 20 Pf. Kr.	ca. 500 M.	
Ungerer-Bad München	2 (bei 265 Volt, 500 Tour.) à 7 = 14 Pf. Kr.		Elektr. Bahn

7. Einige neue Ausführungen und Anlagen.

Ein eigenthümliches System mit senkrechter Spur ist von dem Herrn Zipernowsky in Budapest erfunden worden und wird daselbst demnächst zur Anwendung kommen, welches gestattet, selbst in schmalen Strassenzügen eine Strassenbahn anzulegen. Die den

Wagen tragenden Räder laufen in Kreuzstellung auf einer einzigen Doppelschiene, die zwischen sich einen Spalt lässt, während die Führung durch besondere Rollen, die tiefer in einem Canal sich befinden, bewerkstelligt wird.

In den nachfolgenden Figuren ist dieses System näher erläutert.

Fig. 51.

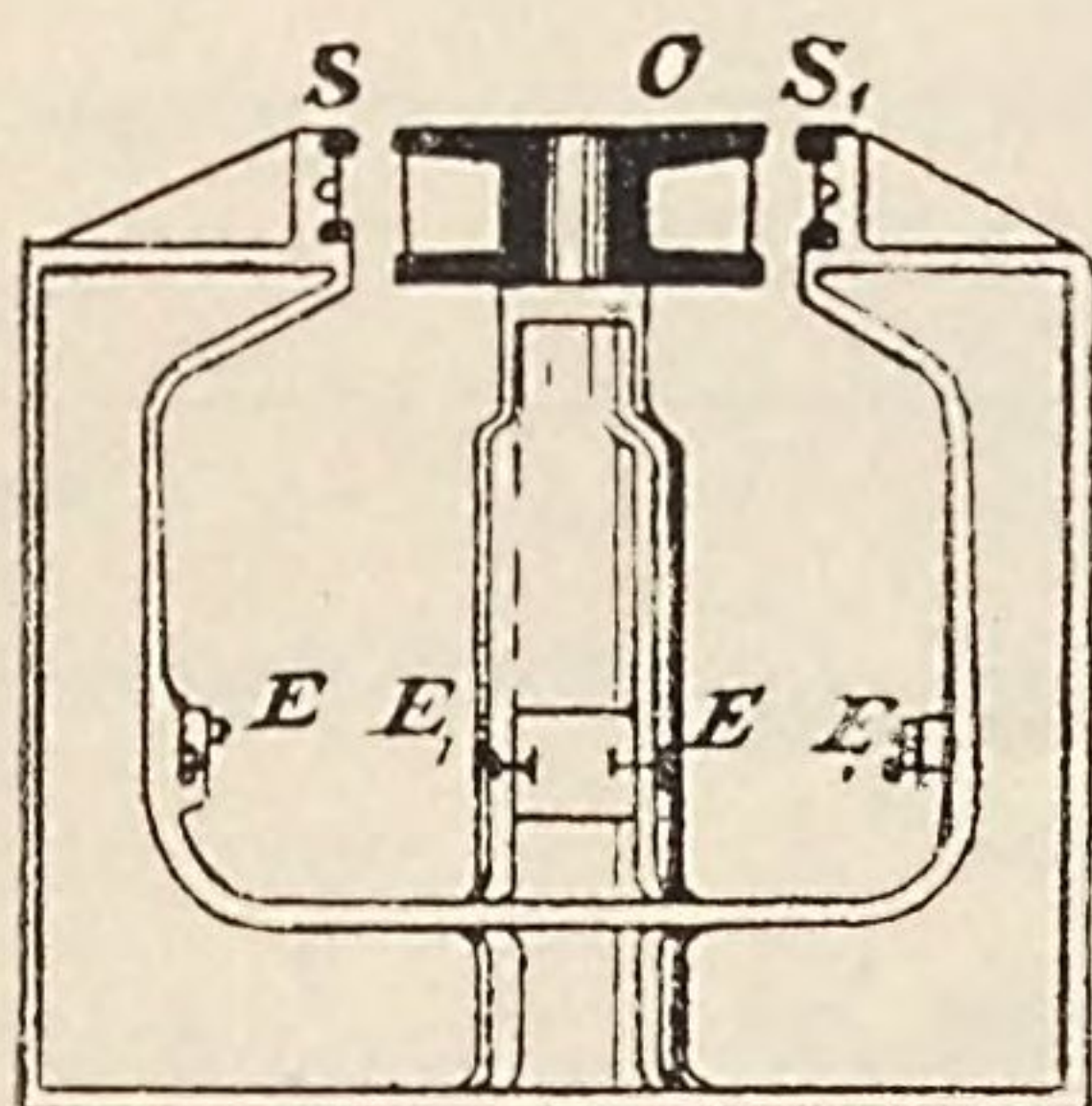
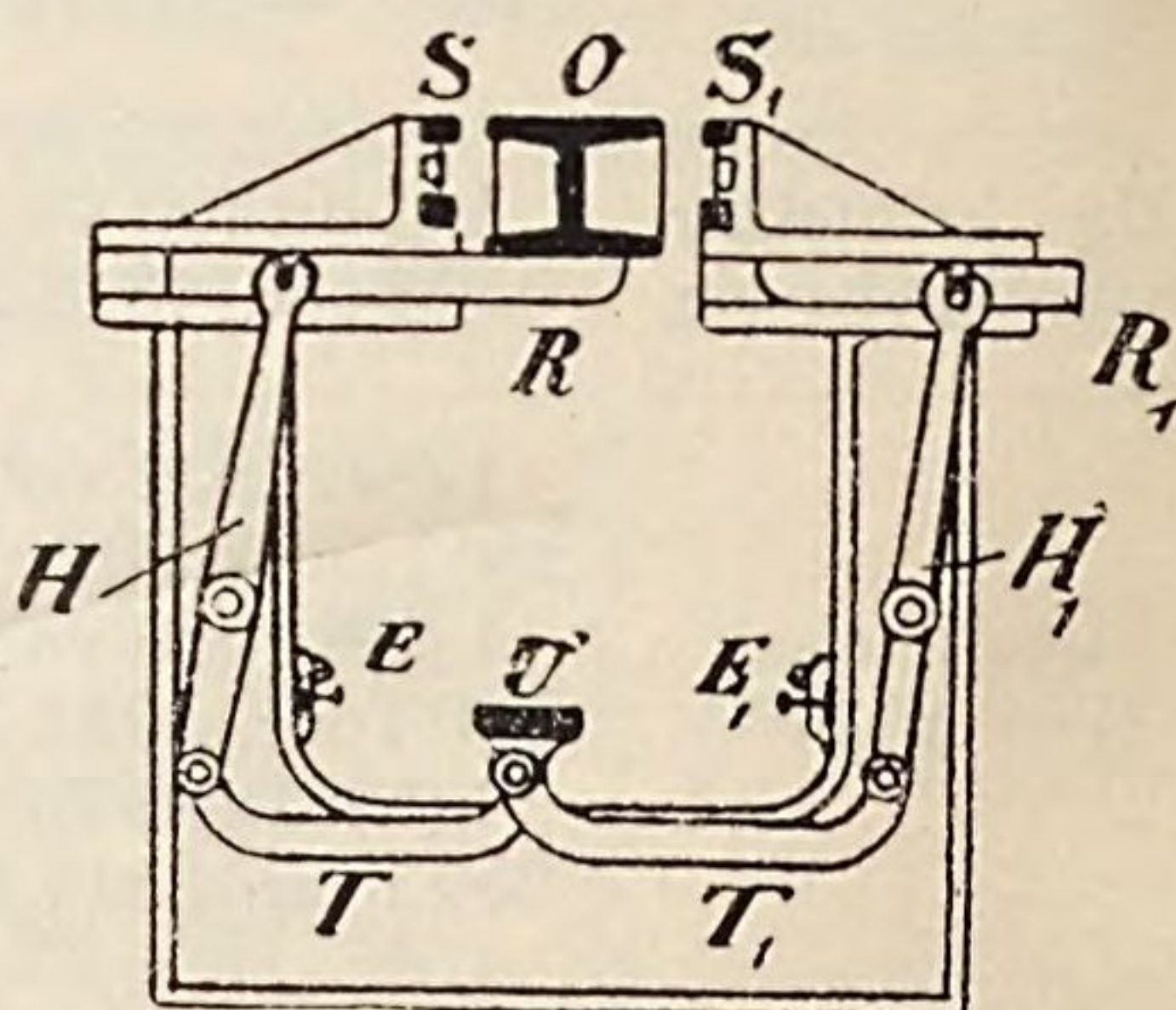


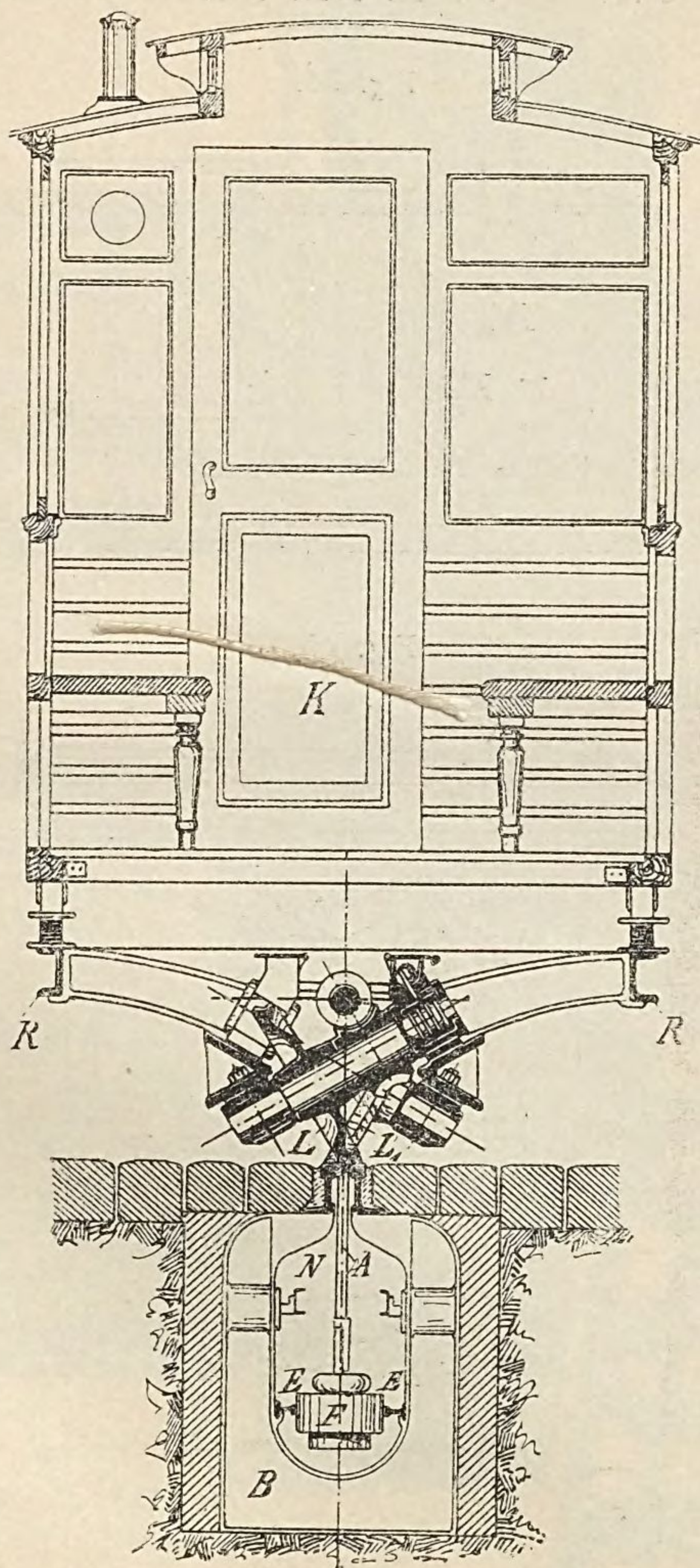
Fig. 52.



Wie aus den Figuren ersichtlich ist, ragen starke Arme vom Wagengestell durch den Schlitz in den Canal hinunter, welche unten Gleitrollen tragen, die durch besondere Schienen geführt sind. Das Hauptgeleise befindet sich also im Strassenniveau, während das Führungsgeleise unter demselben im Canal ersichtlich ist, daher auch die Benennung »Strassenbahn mit senkrechter Spur«.

Da der für dieses System erforderliche Canal zugleich auch elektrische Leitungen aufnehmen kann, so eignet sich dasselbe vorzüglich für elektrischen Betrieb selbst durch verkehrsreiche Plätze und Strassen.

Fig. 53.



Die Figuren 51, 52, 55 zeigen die Anlagen von Ausweichstellen, es lassen sich hierbei auch sehr leicht

Fig. 54.

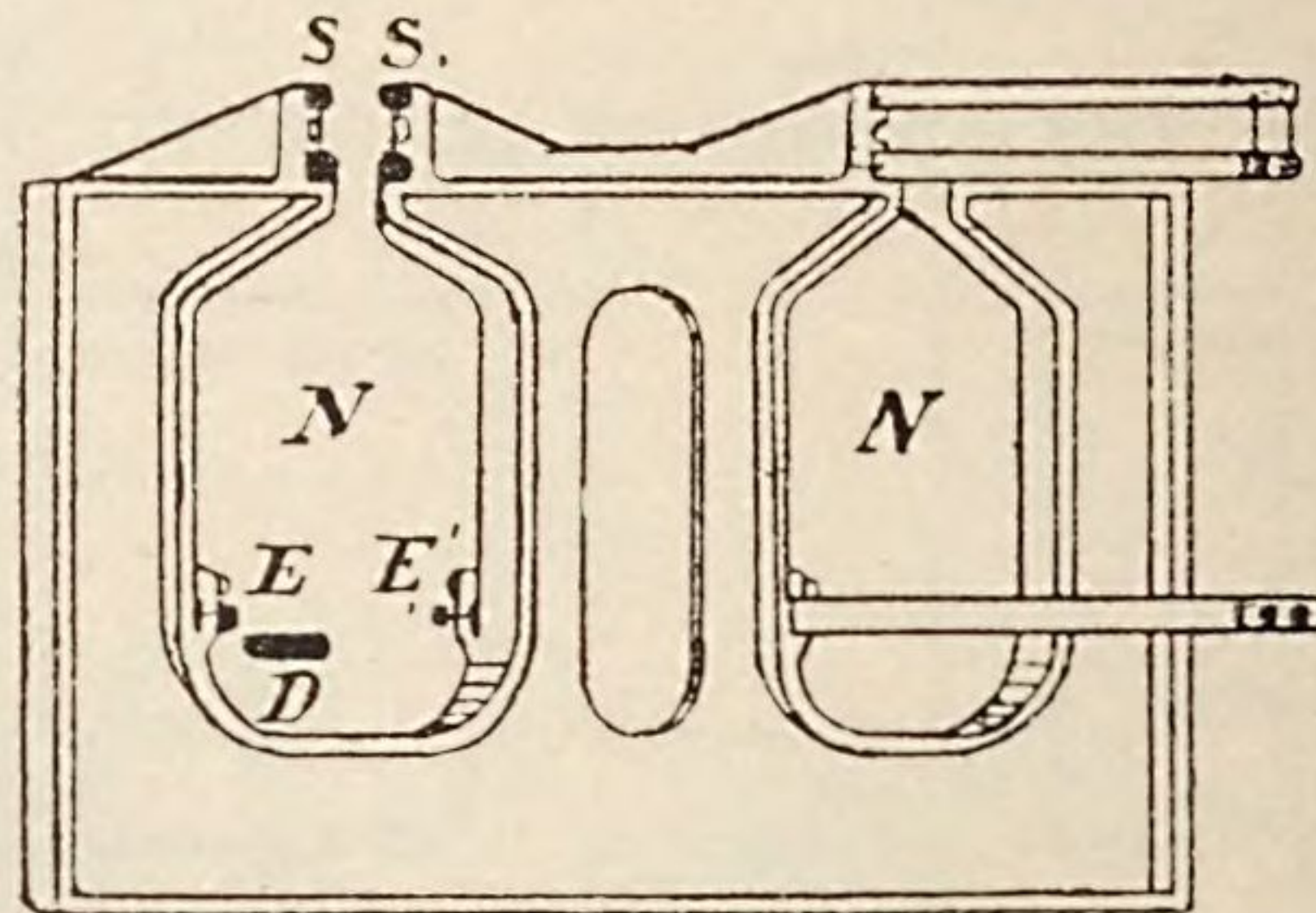


Fig. 55.

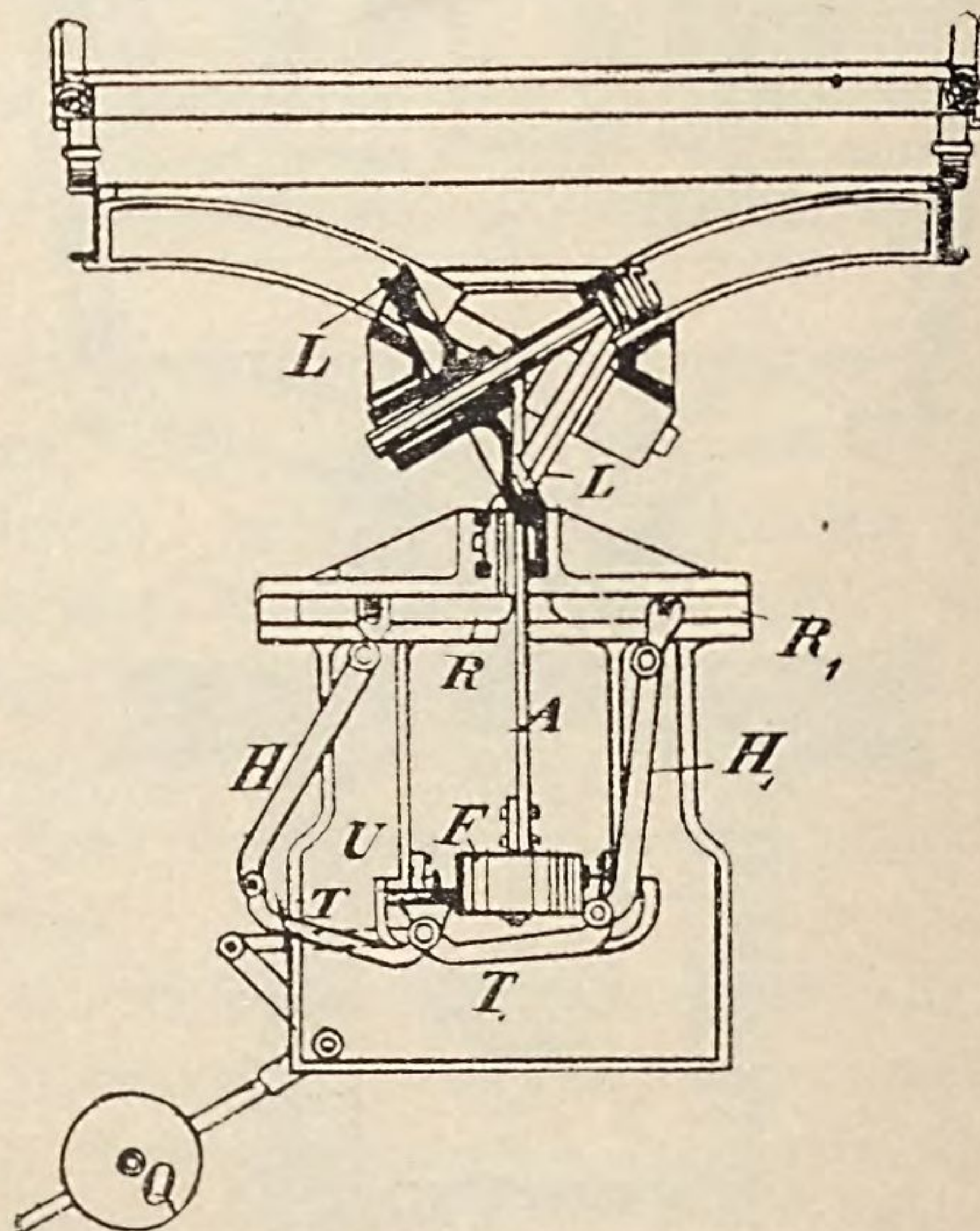
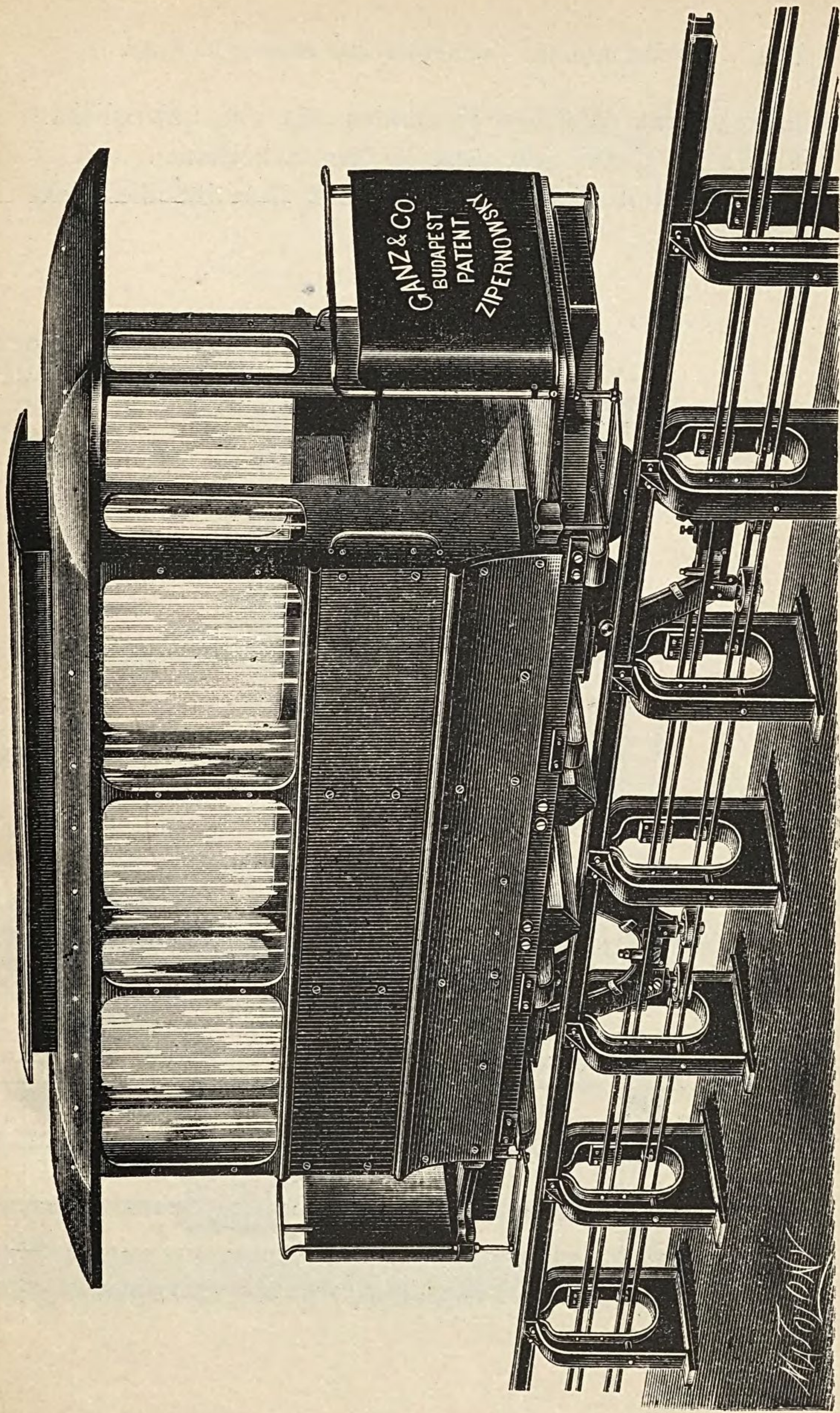
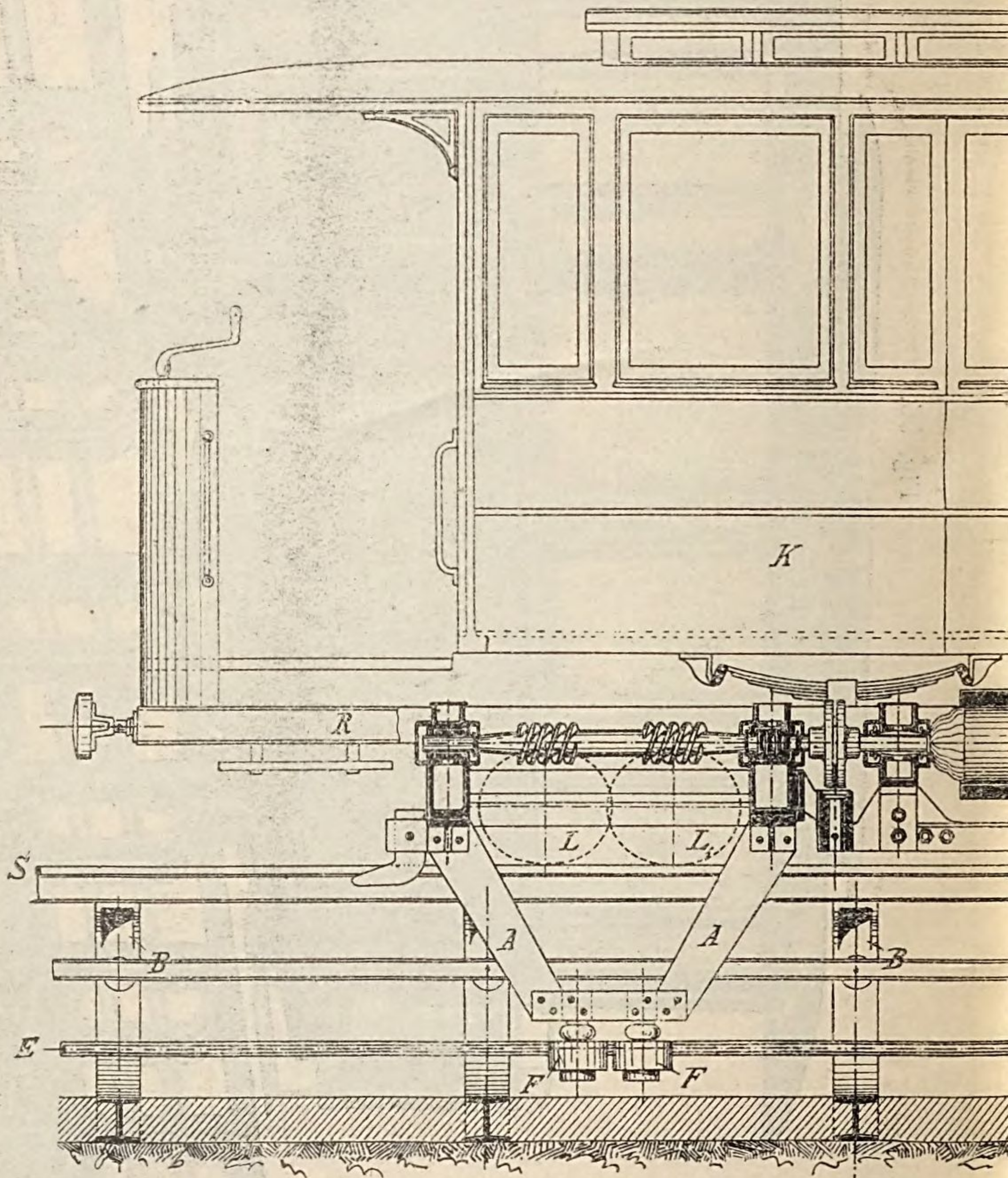


Fig. 56.



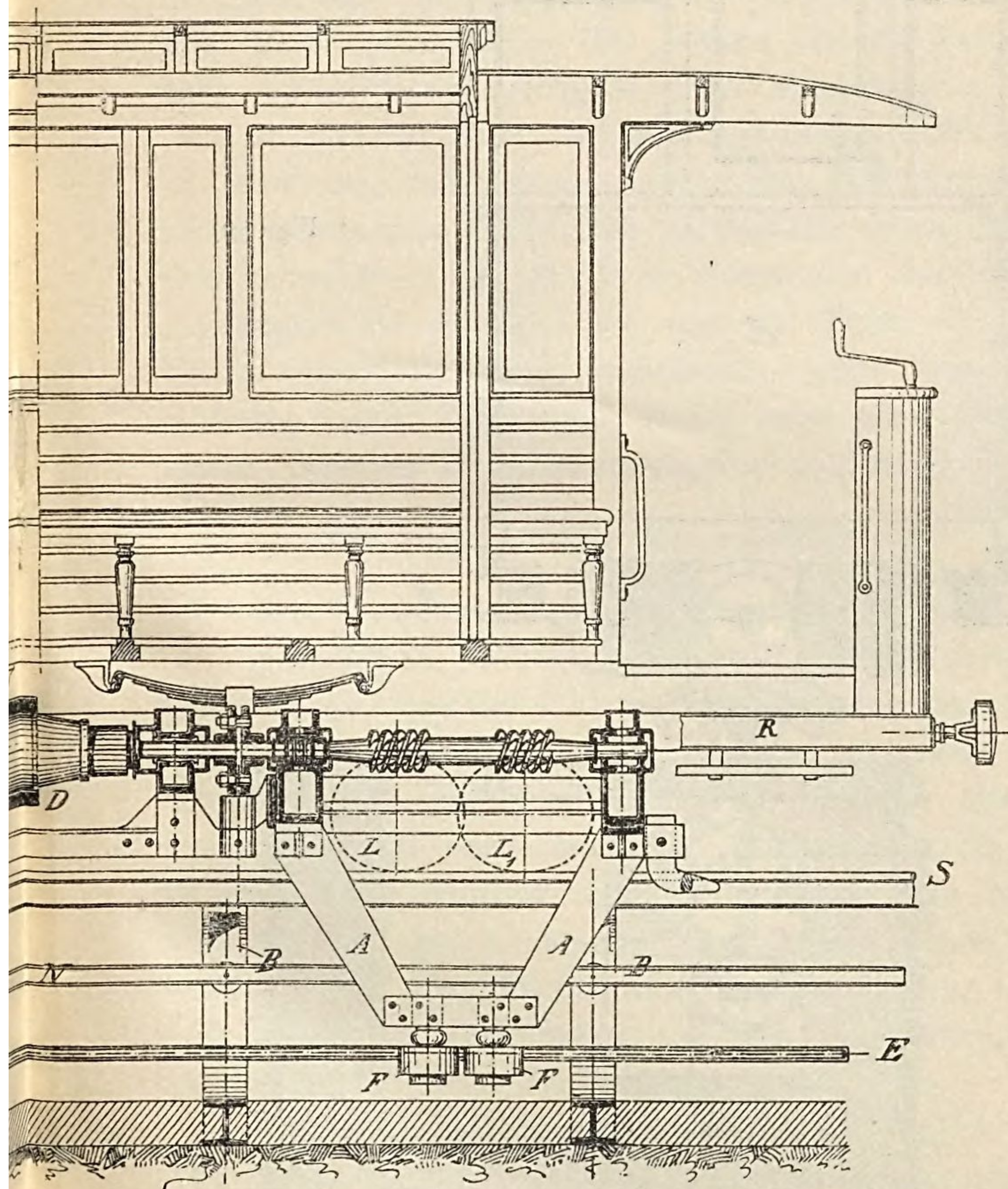
automatische Weichen anwenden, da alle beweglichen Theile im Canal geschützt zu liegen kommen.

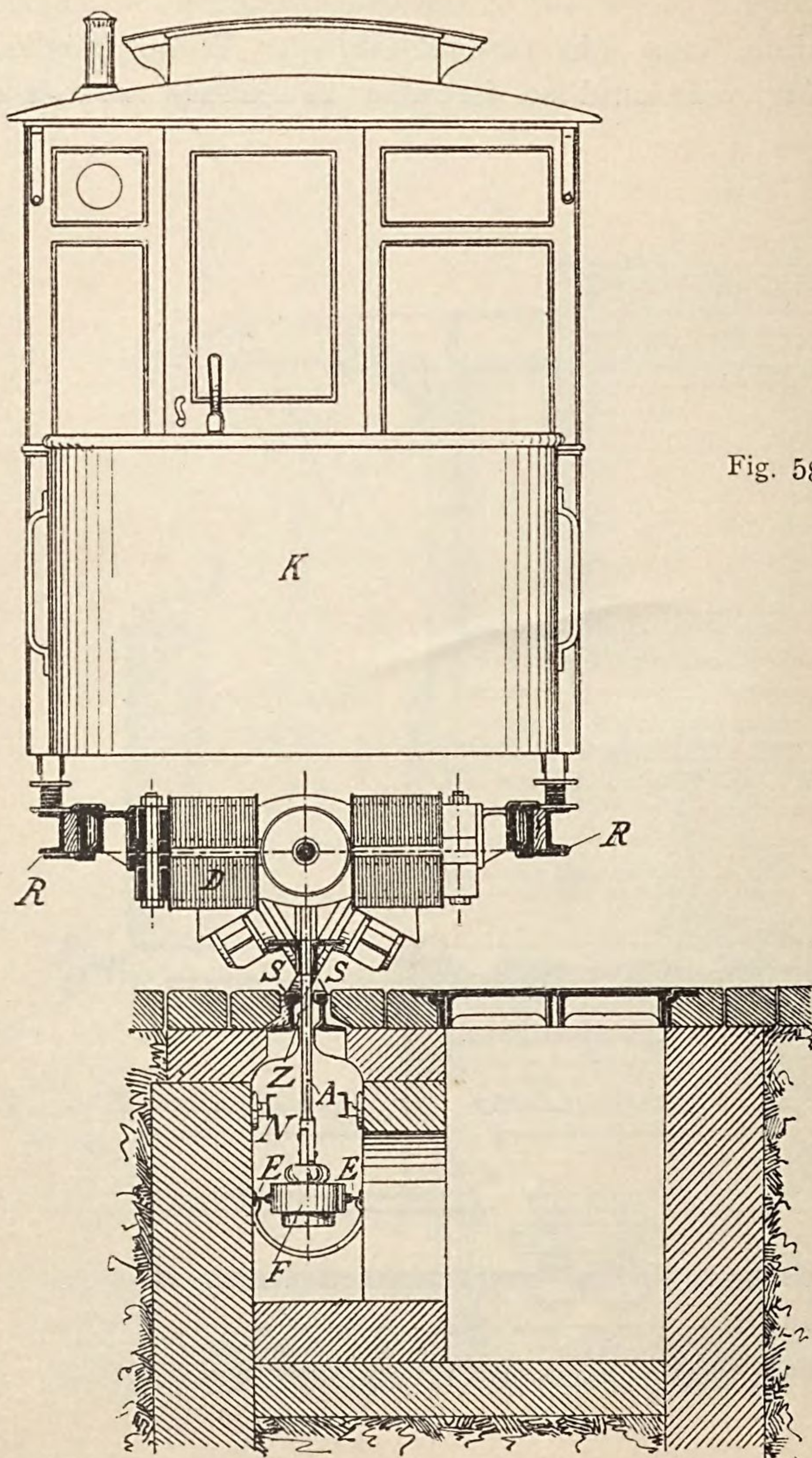
Man hat sich in neuerer Zeit bemüht, die elek-



trischen Motore für Strassenbahnzwecke so zu construiren, dass die Umlaufszahl der Welle möglichst gering wird und so ist man neuerdings so weit ge-

. 57.





gangen, den Motor direct auf die Wagenaxe zu setzen, so dass er dieselbe ohne ein Verlangsamen des Zwischengliedes antreibt.

Zu diesen Motoren mit directem Antrieb gehören die Construction der Short Electric Railway Co. in Cleveland und diejenige der Westinghouse Co. Die Welle macht 100—150 Touren und die Feldmagnete umschliessen Armatur und Wagenaxe. Nach dem an anderer Stelle schon Ausgeführten steht nicht zu erwarten, dass diese Construction, für Accumulatoren wenigstens, besonders vortheilhaft wäre, da die Geschwindigkeit der Welle in Steigungen und Anfahren bedeutend geringer ist, und der Motor in diesen Fällen unnöthige Kraft verbrauchen muss, was nicht eintreten kann, wenn seine Welle unter allen Verhältnissen dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit beibehält.

Die oberirdische Stromzuführung

bei den Strassenbahnen hat man früher vielfach mit geschlitzten Röhren hergestellt, in welchen ein Contactschiffchen lief. Neuerdings wendet man ziemlich allgemein nach dem Vorbilde von Sprague oder Thomson-Houston auf dem Wagen einen frei beweglichen nach oben federnden Arm an (Fig. 59—61, S. 228 u. 229), welcher am oberen Ende eine Mulde oder ein Rad trägt, welches von unten gegen eine mittlere über dem Geleise gespannte Leitung federt und den Strom dem Motor zuführt. Als Rückleitung dienen die Schienen des Geleises.

Diese Contactleitung besteht gewöhnlich aus hartem Bronzedraht, während die eigentlich den Strom

zuführende Hauptleitung aus Kupfer ist, welche vielfach mit der Contactleitung verbunden wird.

Die Hauptleitung kann unterirdisch oder oberirdisch geführt sein und zugleich zur Strassenbeleuchtung dienen.

Verfasser hatte Gelegenheit, die Einrichtungen der provisorischen Bahn zu Bremen im Jahre 1890 kennen zu lernen. Es waren hier von der Thomson-Houston Company 5 Wagen in Betrieb mit 500 Volt, welche zusammen normal etwa 60 Ampère brauchten doch stieg die Stromstärke vorübergehend auch aufs doppelte.

Die Strecke von der nordwestdeutschen Industrie-Ausstellung bis zum Rathhaus war abwechselnd mit Bogenlicht und Glühlicht beleuchtet, während jeder Wagen 5 Glühlampen zu je 100 Volt hintereinander geschaltet enthielt. Der Betrieb ging sehr flott und ohne Störung von statten. Die Motoren verursachten nur sehr geringes Geräusch.

Kürzlich ist in Halle a. S. die Strassenbahn, welche bislang mit Pferden betrieben wurde, nach dem System Sprague für elektrischen Betrieb eingerichtet worden.

Verzeichniss einiger elektrischer Bahnen:*)

Berlin, Lichterfelde-Cadettenhaus (Siemens).

Wien, Mödling-Hinterbrühl (Siemens).

*) Bei dem jeglichen Mangel einer zuverlässigen Statistik können die Angaben weder vollständig noch ganz correct sein. Die meisten der genannten Strecken (mit Ausnahme der beiden letzten) hat Verfasser selbst befahren.

Florenz-Fiesole (Sprague).

Frankfurt a. M.-Offenbach (Siemens).

München-Ungerer-Bad (Schuckert).

Vevey-Montreux-Chillon.

Halle a. S., Strassenbahn (Sprague).

Bremen, Strassenbahn (Versuchsstrecke, die ausgebaut werden soll) (Thomson-Houston).

Versuche mit Accumulatorenwagen:

Dresden (Huber).

Hildburghausen (Oerlikon).

Wilmersdorf bei Berlin (Tudor).

Elektrische Bahnen in Gross-Britannien.*)

O r t	Länge Miles	System	Betrieben durch
Alexandra Park . .	$\frac{1}{2}$	Telpherage	Electr. Engin. Co.
Barking	$1\frac{1}{4}$	Accumulatoren	Gen. Electr. Power & Traction Co.
Bessbrook-Newry .	$3\frac{1}{4}$	Hopkinson	Tramway Co.
Blackpool	2	Holroyd Smith	Tramway Co.
Birmingham . .	3	Julien	Central Tramway Co.
Carstairs	$1\frac{1}{4}$	Anderson- Munro	Anderson & Munro
City & South Lon- don Railway . .	$3\frac{1}{4}$	Hopkinson	City & South Lon- don Railway Co.
King William street- Stockwell			
East Port	$1\frac{1}{2}$	Telpherage	Electr. Engin. Co.
Glynde	$1\frac{1}{2}$	Telpherage	Electr. Engin. Co.
Portroutsh	8	Siemens	Electr. Tramway Co.
Ryde	$\frac{3}{4}$	Siemens	Ryde Pier Co.
Southend Pier . .	$\frac{1}{4}$	Crompton	Local Board

*) Nach J. A. Berly's Universal Electrical Directory 1891.

Schluss.

Verfasser ist sich wohl bewusst, dass er noch manches Neue, Interessante und Wichtige hier anführen könnte; derselbe hat sich bemüht, im Allgemeinen ein zusammenhängendes Bild von dem Stande der heutigen elektrischen Kraftübertragung zu geben und hofft, dass ihm dieses Vorhaben zur Zufriedenheit der werthen Leser gelungen ist. Mehr zu bieten war angesichts der internationalen elektrotechnischen Ausstellung zu Frankfurt a. M. nicht gerathen, als dieselbe besonders auf dem Gebiete der Kraftübertragung ein epochemachender Markstein sein wird.

Soweit das Material über einige wichtige Neuerungen schon vor Eröffnung der Ausstellung zugänglich war, ist dasselbe hier bereits benützt worden, nur soll zum Schlusse noch die Erfindung des Herrn Haselwander kurz beschrieben werden.*)

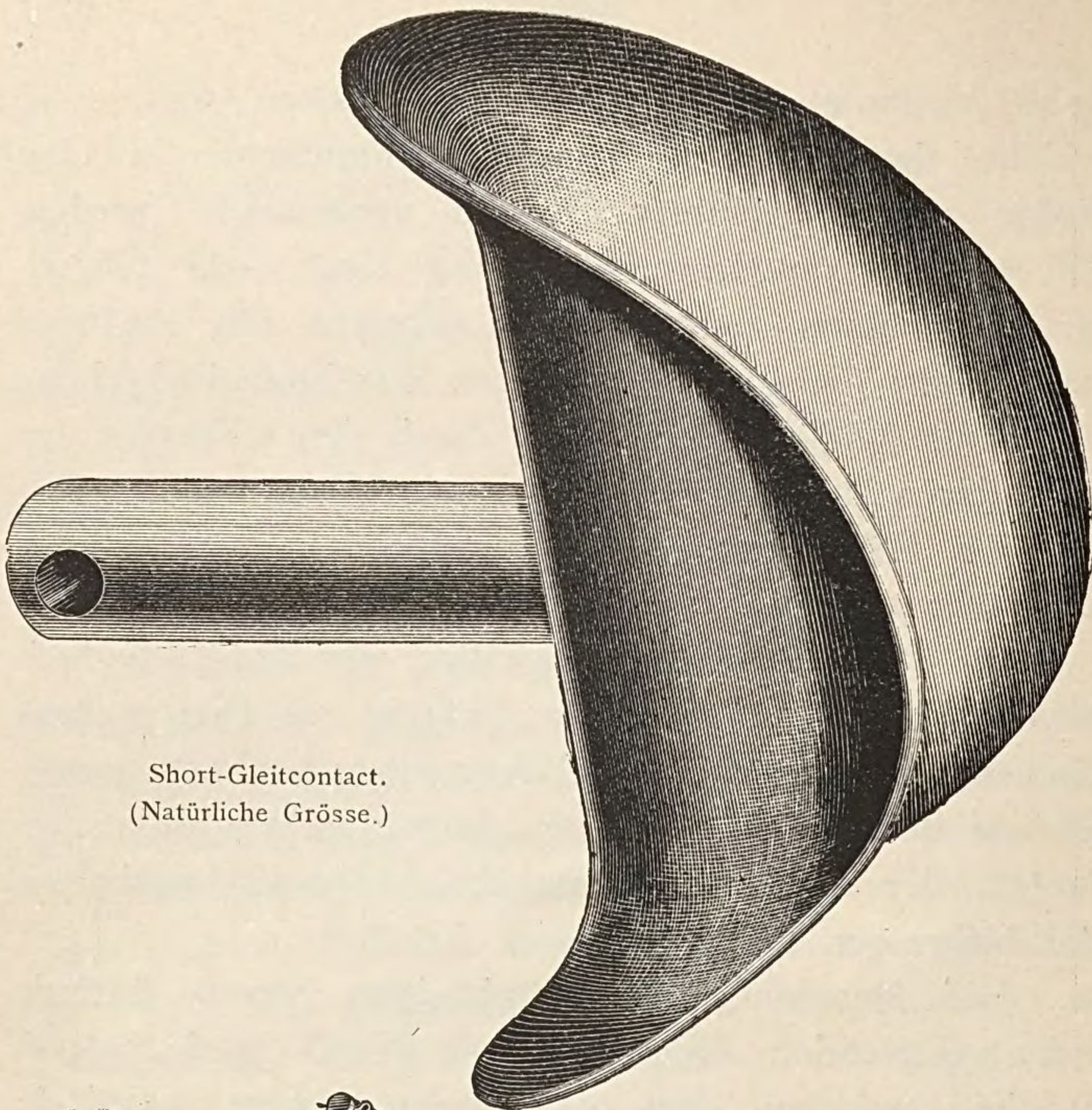
Jede Gleichstrommaschine erzeugt ursprünglich eine Folge von Mehrphasenströmen wechselnder Richtung, d. h. von Wechselströmen, deren Phasen (zeit-

*) Nach Mittheilung der officiellen Ausstellungszeitung der internationalen Ausstellung zu Frankfurt a. M., 1891, S. 10—12.

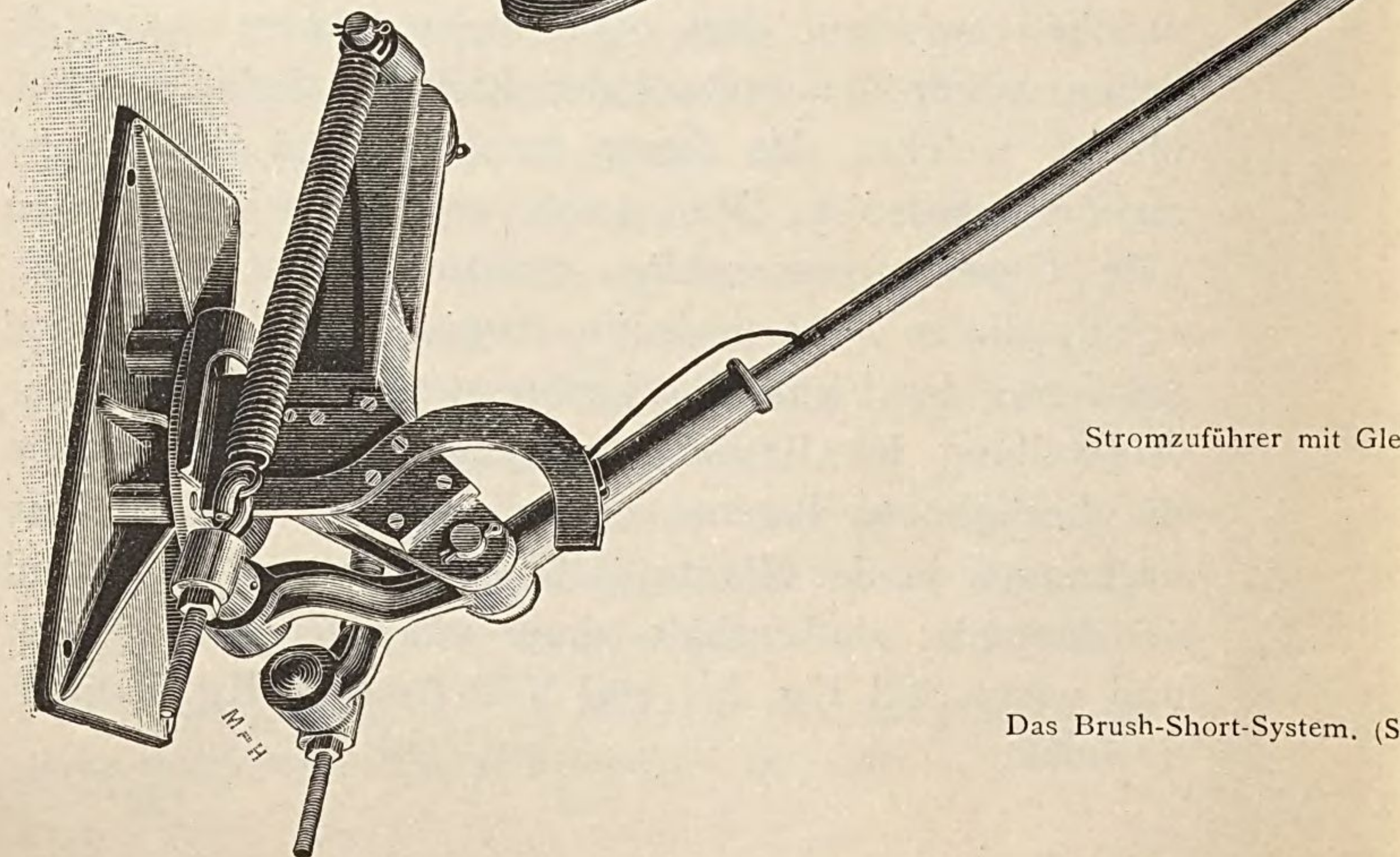
liche Verläufe) gegeneinander verschoben sind, und welche durch den Collector (Commutator) in eine Folge gleichgerichteter Ströme verwandelt werden. Bei Gleichstrom-Kraftübertragung sind zwei Gleichstrommaschinen durch zwei Leitungen mit einander verbunden; der von der primären Maschine abgegebene pulsirende Gleichstrom wird durch den Collector der secundären Maschine wieder in seine Componente, also in eine Folge von Mehrphasenströmen wechselnder Richtung zerlegt.

Im Princip ist die Maschine des Herrn Friedrich Haselwander sehr einfach; sie hat keinen Collector, gestattet die Anwendung hochgespannter Ströme und ergiebt den lange gesuchten Wechselstrommotor, der nicht mehr die schlechten Eigenschaften der bisherigen Motoren dieser Art hat.

Die Maschine für dreiphasigen Strom enthält einen rotirenden Magneten mit Nord- und Südpol, welcher zwischen drei oder mehr Spulen rotirt, in denen er Ströme wechselnder Richtung inducirt. Der Motor, welcher den Strom empfängt und abgiebt, ist analog construirt. Man kann nach diesen Principien jede Gleichstrommaschine umbauen; die erste Maschine dieser Art wurde im August 1887 gebaut und wird von der Firma W. Lahmeyer & Co. auf der Ausstellung im Betriebe vorgeführt werden, welche die bezüglichen Patente erworben hat. Bei 960 Umdrehungen in der Minute giebt der Anker 50 Volt und 48 Ampère; sie enthält einen vierpoligen Magneten und wiegt 303 Kg. bei 160 Volt-Ampère Kg. Kupfergewicht.

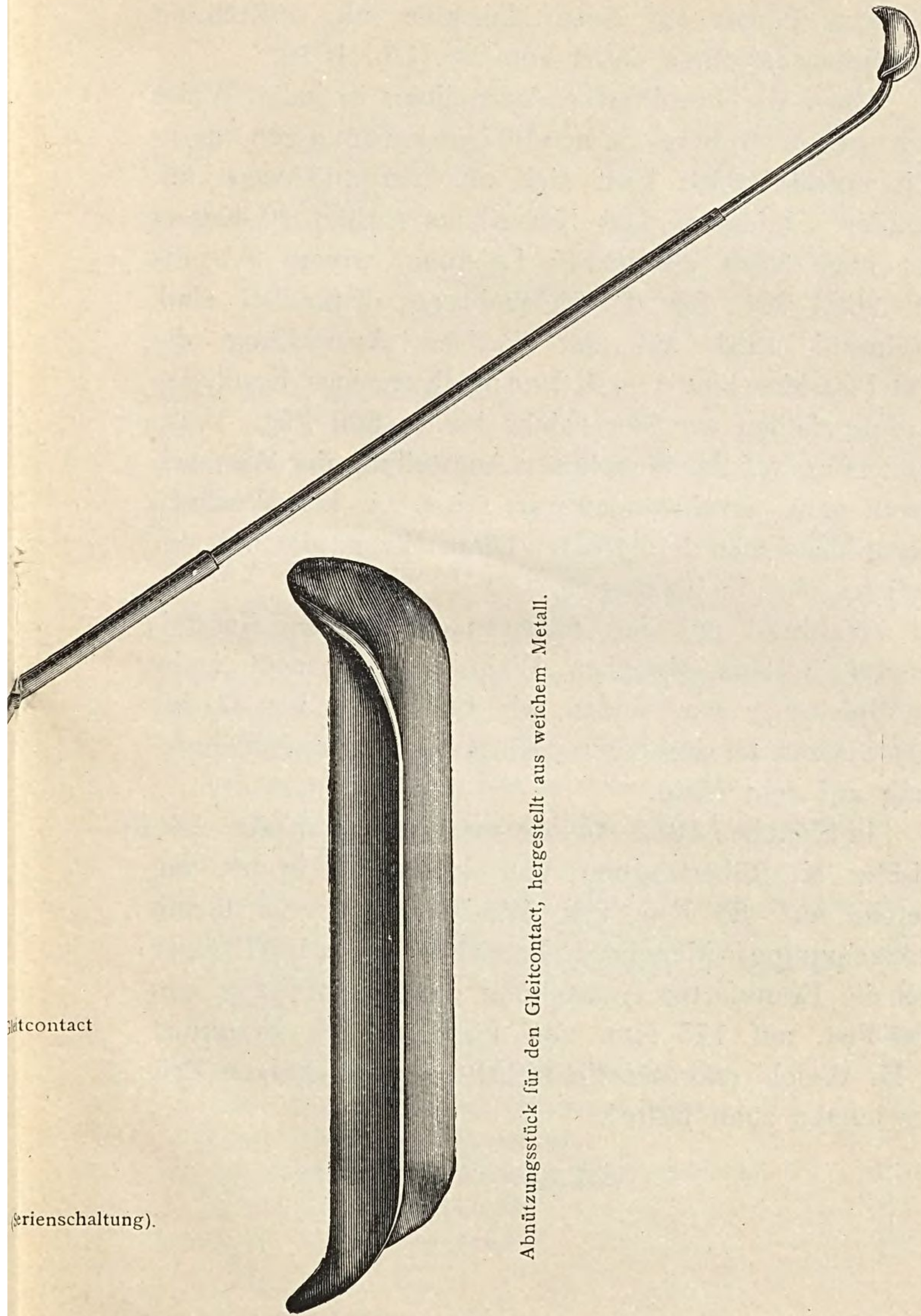


Short-Gleitcontact.
(Natürliche Grösse.)



Stromzuführer mit Gleit

Das Brush-Short-System. (S



Abnützungstück für den Gleitcontact, hergestellt aus weichem Metall.

Gleitcontact

(Serienschaltung).

Das Patent auf diese Maschine mit verketteten Mehrphasenströmen datirt vom 28. Juni 1888.

Dass die Frankfurter Ausstellung in jeder Weise sich gegen frühere derartige Unternehmungen merklich unterscheidet, lässt sich aus verschiedenen Umständen schliessen. Das Kesselhaus enthält 20 Kessel mit über 3000 Pferdekraft Leistung, wovon Abends ca. 2000 Pfst. für die Beleuchtung disponibel sind. Während 1881 auf der Pariser Ausstellung die 100 Pfst.-Maschine von Edison allgemeines Erstaunen erregte, finden wir hier solche bis zu 600 Pfst. Während 1882 auf der Münchener Ausstellung der Wechselstrom ganz verschwunden war, sehen wir hier Wechselstrom-Maschinen der grössten Dimensionen, der mannigfachsten Art in Thätigkeit.

Während auf den früheren elektrischen Ausstellungen in Paris, München, Wien das Boot noch mehr ein Spielzeug war, finden wir hier Boote von 60 bis 100 Plätzen im ständigen Dienst für Personenbeförderung auf dem Main.

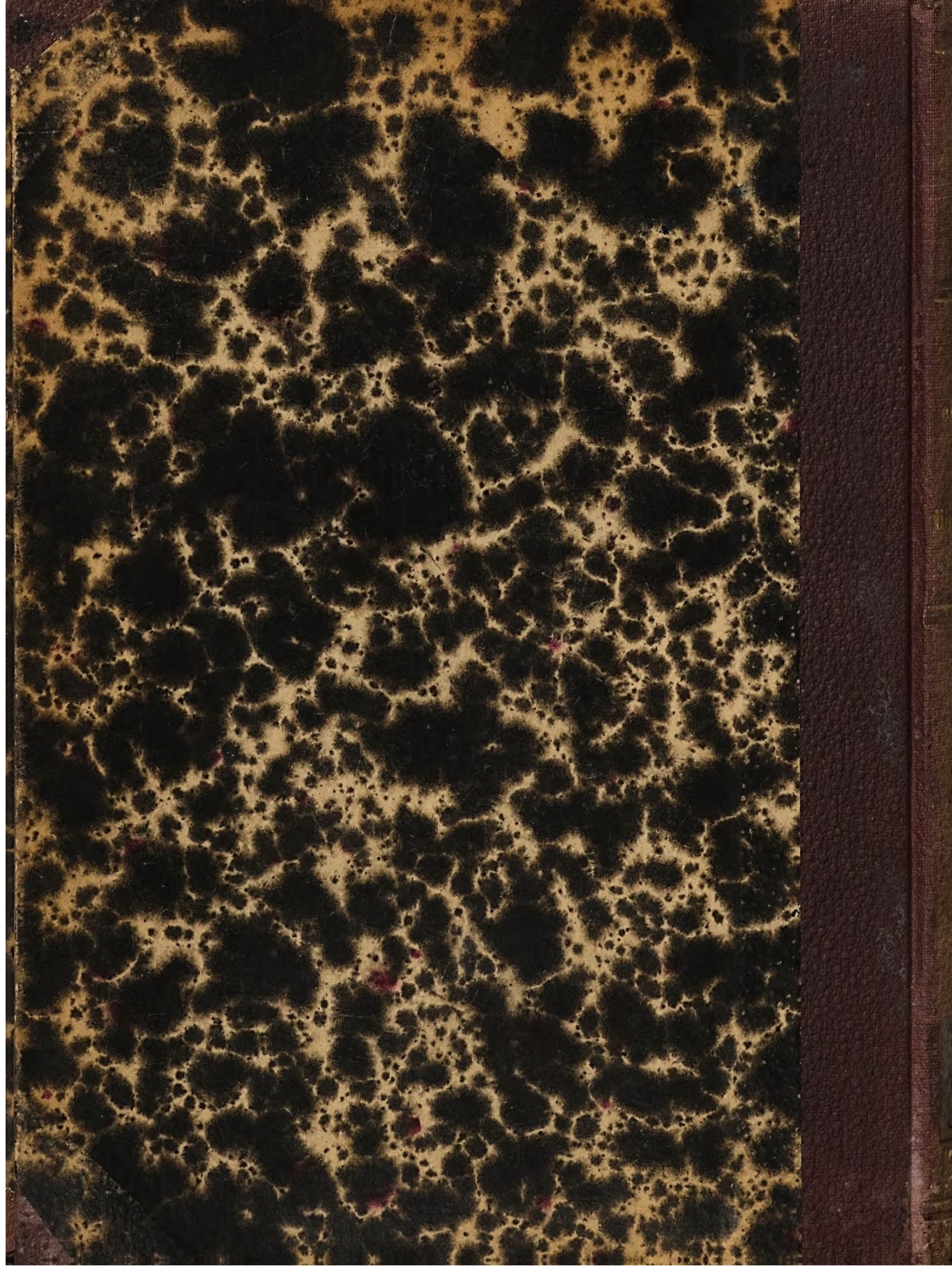
In München 1882 staunte man allgemein die elektrische Kraftübertragung von Marcel Deprez an, welche auf 56 Km. von Miesbach aus eine kleine Kreiselpumpe in München in Betrieb setzte, in 1891 zeigte uns die Frankfurter Ausstellung die Uebertragung von 300 Pfst. auf 175 Km. von Lauffen nach Frankfurt a. M. Welch' enormer Fortschritt in der kurzen Zeit der letzten zehn Jahre!



Inhalt.

	Seite
Vorwort zur 1. und 2. Auflage	V
Vorwort zur 3. Auflage	IX
Verzeichniss der Abbildungen	XIII
I. Einleitung	1
1. Von der Kraftübertragung im Allgemeinen und der elektrischen Kraftübertragung insbesondere	1
2. Begriff und Ursprung der Kraft im Allgemeinen und der elektrischen Kraft insbesondere	
II. Die Erzeugung des elektrischen Stromes aus Bewegung (mit Fig. 1—8)	25
1. Die Motoren zur Bewegung der elektrischen Maschinen	25
2. Die elektrischen Maschinen als Stromerzeuger	45
III. Die Umwandlung des elektrischen Stromes in Kraft (mit Fig. 9—30)	60
1. Die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes	60
Theorie der Umwandlung des Stromes in Arbeit	60
Theoretische Berechnung der Kraftübertragung auf grosse Entfernung	73
Die Leitungen	80
2. Die Aufspeicherung des elektrischen Stromes	89
3. Die Transformirung des elektrischen Stromes	100
Kapp- und Snett-Transformatoren	107
4. Die elektrischen Krafterzeuger (Elektromotoren)	121
a) Die Gleichstrommotoren	121
b) Die Wechselstrommotoren	132

	Seite
Elektromotoren	135
Elektromotoren von Sprague	136
Elektromotoren der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft, Berlin	137
Preise von Secundär-Maschinen für Kraft Uebertragung (Schuckert & Comp., Nürnberg)	138
c) Die Drehstrommotoren	143
5. Die Benützung der elektrischen Kraft zur Erzeugung von Bewegung	145
a) Die stabilen Anlagen	146
Elektrische Kraftübertragung Kriegstätten-Solothurn .	152
A. Die direct gemessenen elektrischen Grössen	152
B. Die abgeleiteten elektrischen Grössen	152
C. Die elektrischen und mechanischen Arbeiten, in Pferdestärken ausgedrückt	153
D. Die verschiedenen Nutzeffecte	153
b) Halbtransportable Anlagen	156
c) Transportable Anlagen	158
Die elektrischen Bahnen	140
6. Betriebsergebnisse einiger elektrischer Betriebe, Preis der elektrischen Triebkraft, Verzeichniss verschiedener Anlagen	199
7. Einige ausgeführte Anlagen	215
Schluss	227



Japing, Eduard

Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis

Wien [u.a.] 1891

BHS II H 191

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11558448-6